



# CATÓLICA

UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA | PORTO

Escola Superior de Biotecnologia

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE NOVOS TÊXTEIS TÉCNICOS PARA ÁREA BIOMÉDICA

por

Laura Alexandra Moreira Pinto

Novembro 2015





# CATÓLICA

UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA | PORTO

Escola Superior de Biotecnologia

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE NOVOS TÊXTEIS TÉCNICOS PARA ÁREA BIOMÉDICA

POTENTIAL ASSESSMENT OF NEW TECHNICAL TEXTILES FOR BIOMEDICAL AREA

Tese apresentada à Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica Portuguesa para  
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Biomédica

por

Laura Alexandra Moreira Pinto

Local: CeNTI - Centro de Nanotecnologia e Materiais Técnicos, Funcionais e Inteligentes

Orientadora: Prof. Dra. Ana Leite Oliveira

Co-orientadora: Dra. Carla Silva

Novembro 2015





## Resumo

O vestuário funcional representa um segmento evolutivo no mercado dos têxteis funcionais, sendo uma área onde se integram novos domínios como o da medicina, biotecnologia, nanotecnologia ou informática, para atender às diversas e complexas exigências do utilizador final atual. No setor médico estas inovações podem ser encontradas em várias aplicações: vestuário, ligaduras, implantes cirúrgicos, roupas de cama, etc. A área da geriatria em particular tem vindo a adquirir crescente importância no setor têxtil dado o aumento do número de utilizadores finais com o aumento da esperança média de vida da população. De facto, a qualidade de vida dos idosos pode, em muitos casos, ser substancialmente melhorada através de inovações simples na área dos têxteis funcionais.

O presente trabalho pretende contribuir para dar resposta ao desafio lançado pela empresa têxtil Nordstrom ao centro de investigação CeNTI (Centro de Nanotecnologia e Materiais Técnicos, Funcionais e Inteligentes) na valorização de novos materiais têxteis funcionais para aplicações de alto valor acrescentado na área da geriatria. Neste contexto, estudaram-se novas matrizes têxteis 3D à base de polímeros naturais que foram recentemente desenvolvidas. Pretendeu-se estudar a viabilidade de novos têxteis 3D baseados em dois sistemas poliméricos distintos, seda e cupro/polipropileno, para serem utilizados em pacientes com maior dificuldade de regulação térmica, acamados e idosos com pouca ou nenhuma atividade física.

Foram estudadas diversas propriedades físico-químicas dos materiais (hidrofilicidade, molhabilidade, conforto térmico) e a confortabilidade do produto, através de testes que avaliam a capacidade de evaporar o suor da pele para o ambiente. Foi também estudada a capacidade de incorporação de um fármaco modelo de origem natural nos têxteis 3D, a escina, que é um medicamento utilizado no tratamento sintomático de alterações funcionais das veias dos membros inferiores (insuficiência venosa crónica).

O substrato têxtil que reuniu as propriedades mais interessantes para a aplicação proposta foi o têxtil composto por cupro/polipropileno, comparativamente a um têxtil 3D contendo um polímero natural, a seda, e a têxteis tradicionais de algodão e poliéster. Relativamente ao conforto térmico, o têxtil 3D de cupro/polipropileno apresentou um isolamento térmico mais elevado comparativamente aos tecidos de duas dimensões. Esta característica é essencial para utilizadores com maior dificuldade de regulação térmica, como pacientes acamados e idosos com pouca ou nenhuma atividade física. Este têxtil apresentou em ambas as faces uma hidrofilicidade muito elevada e um perfil de absorção de água mais favorável, tendo sido capaz de absorver uma maior quantidade de água num intervalo de tempo mais reduzido. Desta forma este têxtil apresentou uma absorção local e por capilaridade mais elevada, podendo dizer-se que será mais eficaz na evaporação do suor da pele para o ambiente.

A partir da funcionalização dos substratos têxteis 2D de algodão e 3D de cupro e polipropileno com escina, concluiu-se que o último apresenta melhor capacidade de retenção do fármaco (escina), apresentando um perfil de libertação que pode ser mais facilmente controlado. O

tecido consegue reter maior quantidade do fármaco uma vez que a libertação de escina é mais lenta em comparação com o tecido de algodão 2D, o que permite controlar melhor o doseamento do fármaco a ser libertado para o organismo humano.

De uma maneira geral, o trabalho apresentado abre caminhos para trabalhos futuros na área dos materiais têxteis funcionais, enquadrados no âmbito da geriatria e dos cuidados de saúde.

## Abstract

Functional clothing is an evolving segment in the functional textile market, an area where new fields are integrated such as medicine, biotechnology, nanotechnology or information technology, to meet the diverse and complex requirements from the end-user. In the medical industry these innovations can be found in various applications: clothing, bandages, surgical implants, bedding, etc. The geriatric area has been gaining particular importance in the textile sector due to the increasing number of end users with increased life expectancy of the population. In fact, the quality of life of the elderly can in many cases be significantly improved by simple functional innovations in the field of textiles.

This thesis aims to contribute to addressing the challenge posed by the textile company Nordstrom to CeNTI research center (Center for Nanotechnology and Technical Materials, Functional and Intelligent), the valuation of new functional textile materials with high added value in geriatric applications. In this context new textile 3D matrices were studied, based on natural polymers that have been recently developed. A study was developed on the applicability of new 3D textiles based on two distinct polymer systems: silk and cupro/polypropylene, for use in patients with greater difficulty in thermoregulation, bedridden and the elderly with little or no physical activity.

Various physico-chemical properties of the materials were studied (hydrophilicity, wettability, thermal comfort), and the comfortability of the product through tests that assess the ability to evaporate sweat from skin. The incorporation ability of a natural origin drug of model in 3D textiles, aescin, was also studied, which is a bioactive principle used in the symptomatic treatment of functional disorders of the veins of the lower limbs (chronic venous insufficiency).

The 3D textile substrate which has gathered the most interesting properties for the proposed application was the cupro/polypropylene system as compared to the 3D textile containing silk, and the traditional textiles of cotton and polyester. For the thermal comfort, 3D cupro fiber/polypropylene had a higher thermal insulation compared to 2D textile. This feature is essential for users with greater difficulty in thermoregulation, as bedridden patients and elderly with little or no physical activity. This textile presented a higher hydrophilicity on both sides and a more favorable profile of water absorption. It was also capable of absorbing a greater amount of water in a smaller time interval. Since this fiber showed a local absorption and higher capillarity, it can be more effective in allowing evaporation of sweat from the skin to the environment.

From the functionalization of cotton 2D textile substrates and 3D cupro/polypropylene with escin, it was concluded that the latter provided better drug retention capacity (escin), showing a release profile which can be more easily controlled. The fabric can hold larger amounts of the drug since the release of escin is slower as compared to the 2D cotton fabric, which consequently will allow a better control of drug dosage to be delivered to the human body.

In general, the presented work opens new avenues for future work in the area of functional textiles, in the context of geriatrics and health care.





## Agradecimentos

Início os meus agradecimentos com uma frase do grande Albert Einstein: *"A natureza é exatamente simples, se conseguirmos encará-la de modo apropriado... Essa crença tem-me auxiliado, durante toda a minha vida, a não perder as esperanças, quando surgem grandes dificuldades de investigação"*. Esta citação refere, exatamente, todos os pensamentos que surgiram ao longo dos dias que dediquei a esta investigação. Nem todos foram dias de sucesso, nem sempre obtive os resultados que desejava mas... não perdi a esperança e esta dissertação aconteceu.

Para que este trabalho fosse possível estiveram ao meu lado pessoas que colaboraram de diferentes formas e que me encorajaram.

Começo por agradecer às minhas orientadoras, a Professora Ana Leite Oliveira, da Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica Portuguesa e a Doutora Carla Silva, do CeNTI, pela simpatia, apoio, compreensão e por ao longo destes meses apoiarem esta pesquisa.

Agradeço também à Escola Superior de Biotecnologia e ao Professor João Paulo Ferreira todo o apoio que sempre disponibilizou; ao CeNTI e a todos os seus profissionais, em particular ao Engenheiro André Assembleia e ao Dr. Ricardo Neto; um agradecimento especial aos meus colegas de equipa nomeadamente todos os estagiários com quem privei e com quem dividi espaço diariamente, destacando a Rita Manso, a minha companheira.

A toda a minha família um enorme obrigada, em particular aos meus pais por acreditarem em mim; aos meus amigos que sempre me ouviram, me aconselharam e tiveram sempre a palavra certa, à Xana - pelas horas infinitas de conversas, pelo sorriso sincero, e por todo o apoio indispensável nesta fase; ao meu namorado, que não só esteve ao meu lado, como percorreu este caminho comigo, um obrigado especial por toda a força e acompanhamento que me deu - contigo ao meu lado tudo ficou mais simples.

Termino agradecendo de uma forma geral, a todos que estiveram ao meu lado, não só ao longo destes meses, mas ao longo de todo o meu percurso académico que hoje termino.

*"A coisa mais bela que o homem pode experimentar é o mistério. É essa emoção fundamental que está na raiz de toda ciência e toda arte"* Albert Einstein



## Índice Geral

<b>Resumo .....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>5</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>7</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>11</b>
<b>Lista de tabelas .....</b>	<b>13</b>
<b>Lista de abreviaturas .....</b>	<b>15</b>
<b>1 Introdução.....</b>	<b>17</b>
1.1 <i>O setor têxtil e a sua abrangência.....</i>	<i>17</i>
1.2 <i>Têxteis funcionais em medicina e em cuidados de saúde .....</i>	<i>19</i>
1.2.1 <i>Classificação do vestuário funcional .....</i>	<i>19</i>
1.2.2 <i>Materiais funcionais e inteligentes em geriatria.....</i>	<i>21</i>
1.3 <i>Da fibra ao têxtil: materiais e tecnologias de processamento .....</i>	<i>22</i>
1.3.1 <i>Fibras naturais.....</i>	<i>23</i>
1.3.2 <i>Fibras não naturais.....</i>	<i>27</i>
1.3.3 <i>Têxteis tri-dimensionais (3D).....</i>	<i>30</i>
<b>2 Materiais e Métodos .....</b>	<b>32</b>
2.1 <i>Materiais e processamento.....</i>	<i>32</i>
2.2 <i>Espetroscopia de infravermelho por transformada de Fourier com refletância total atenuada .....</i>	<i>34</i>
2.3 <i>Caraterização térmica.....</i>	<i>34</i>
2.4 <i>Absorção de água.....</i>	<i>35</i>
2.5 <i>Ângulo de contacto.....</i>	<i>36</i>
2.6 <i>Deteção e quantificação de escina por espectroscopia UV/VIS .....</i>	<i>38</i>
<b>3 Resultados e Discussão .....</b>	<b>40</b>
3.1 <i>Espetroscopia de infravermelho por transformada de Fourier com refletância total atenuada .....</i>	<i>40</i>
3.2 <i>Caraterização térmica.....</i>	<i>41</i>
3.3 <i>Absorção de água.....</i>	<i>57</i>
3.4 <i>Ângulo de contacto.....</i>	<i>58</i>
3.5 <i>Deteção e quantificação de escina por espectroscopia UV/VIS .....</i>	<i>60</i>

<b>4</b>	<b>Conclusões gerais .....</b>	<b>61</b>
<b>5</b>	<b>Trabalho futuro .....</b>	<b>62</b>
<b>6</b>	<b>Bibliografia.....</b>	<b>63</b>
	<b>Apêndices .....</b>	<b>66</b>
	<b>Apêndice I. Montagem experimental da caracterização térmica com termopares. ....</b>	<b>66</b>
	<b>Apêndice II. Reta de calibração da escina. ....</b>	<b>67</b>
	<b>Apêndice III. Resultado da taxa de libertação de escina do algodão 2D (em absorvância). ....</b>	<b>68</b>
	<b>Apêndice IV. Resultado da taxa de libertação de escina do cupro3D/PP3D (em absorvância). ....</b>	<b>70</b>
	<b>Anexos .....</b>	<b>72</b>
	<b>Anexo I. Esquema simplificado da organização das fibras têxteis. ....</b>	<b>72</b>
	<b>Anexo II. Relatório de avaliação do pedido de comparticipação de um medicamento de escina para uso humano (algumas informações úteis). ....</b>	<b>73</b>



## Lista de figuras

<i>Figura 1.1 Esquema simplificado das várias etapas tipicamente associadas ao setor têxtil [4].</i>	17
<i>Figura 1.2 Esquema exemplificativo das fibras têxteis naturais.</i>	24
<i>Figura 1.3 Estrutura química do algodão [14].</i>	25
<i>Figura 1.4 Modelo morfológico da fibra de algodão.</i>	26
<i>Figura 1.5 Fibra de seda [15].</i>	26
<i>Figura 1.6 Polimerização do polipropileno [17].</i>	28
<i>Figura 1.7 Fórmula química da maioria dos poliésteres [18].</i>	29
<i>Figura 1.8 Estrutura têxtil 3D desenhada para engenharia de tecidos de cartilagem [21].</i>	30
<i>Figura 1.9 Formas de tricotagem em warp knitting (a) e em weft knitting (b) [20].</i>	31
<i>Figura 2.1 Esquema exemplificativo da montagem de caracterização térmica com termopares.</i>	35
<i>Figura 2.2 Montagem de wicking vertical.</i>	36
<i>Figura 2.3 Representação das tensões superficiais numa medição de ângulo de contacto.</i>	37
<i>Figura 2.4 Diferentes ângulos de contacto numa superfície [28].</i>	37
<i>Figura 2.5 Procedimento experimental da deteção e quantificação de escina.</i>	39
<i>Figura 3.1 Espetros de FTIR-ATR das amostras 3D e algodão 2D no intervalo de 4000 a 650 cm<sup>-1</sup>.</i>	40
<i>Figura 3.2 Comparação entre o têxtil 2D de algodão com a face de cupro do têxtil 3D de cupro/PP.</i>	41
<i>Figura 3.3 Comparação entre o algodão 2D e o polipropileno 3D.</i>	42
<i>Figura 3.4 Comparação entre o algodão 2D com a seda 3D.</i>	43
<i>Figura 3.5 Comparação entre a seda 3D e o cupro 3D.</i>	44
<i>Figura 3.6 Comparação entre a seda 3D e o polipropileno 3D.</i>	44
<i>Figura 3.7 Comparação entre o cupro 2D e o cupro 3D.</i>	47
<i>Figura 3.8 Comparação entre o polipropileno 2D e o polipropileno 3D.</i>	47
<i>Figura 3.9 Comparação entre a seda 2D e a seda 3D.</i>	47
<i>Figura 3.10 Comparação entre o cupro 3D e o algodão 2D na face exterior e na face interior.</i>	49
<i>Figura 3.11 Comparação entre o polipropileno 3D com o algodão 2D na face exterior e na face interior.</i>	50
<i>Figura 3.12 Comparação entre a seda 3D e o algodão 2D na face exterior e na face interior.</i>	50
<i>Figura 3.13 Comparação entre o cupro 3D e a seda 3D na face exterior e na face interior.</i>	51
<i>Figura 3.14 Comparação entre o polipropileno 3D e a seda 3D na face exterior e na face interior.</i>	52
<i>Figura 3.15 Comparação entre o cupro 2D o cupro 3D na face exterior e na face interior.</i>	52
<i>Figura 3.16 Comparação entre o polipropileno 2D e o polipropileno 3D na face exterior e na face interior.</i>	53
<i>Figura 3.17 Comparação entre a seda 2D e a seda 3D na face exterior e na face interior.</i>	53
<i>Figura 3.18 Comparação entre o poliéster branco 2D e o algodão 2D na face exterior e na face interior.</i>	55
<i>Figura 3.19 Comparação entre o poliéster coolmax laranja 2D e o algodão 2D na face interior e na face exterior.</i>	55

<i>Figura 3.20 Comparação entre o poliéster rosa 2D e o algodão 2D na face exterior e na face interior.</i>	56
<i>Figura 3.21 Comparação entre o poliéster vermelho 2D e o algodão 2D na face exterior e na face interior.</i>	56
<i>Figura 3.22 Perfil de absorção dos diferentes têxteis usados na atividade experimental.</i>	57
<i>Figura 3.23 Imagens representativas da medição do ângulo de contacto. a) seda 3D; b) poliéster branco 2D; c) poliéster coolmax laranja 2D; d) poliéster coolmax laranja reverso 2D; e) poliéster rosa 2D; f) poliéster vermelho 2D.</i>	58
<i>Figura 3.24 Cinética de libertação da escina do têxtil de algodão 2D e do têxtil 3D composto por cupro e polipropileno.</i>	60

## Lista de tabelas

<i>Tabela 1.1 Classes de vestuário funcional [7].</i>	20
<i>Tabela 1.2 Características físicas das fibras têxteis naturais mais utilizadas [6].</i>	24
<i>Tabela 1.3 Composição de aminoácidos de sericina e fibroína [16].</i>	27
<i>Tabela 1.4 Propriedades do cupro [17].</i>	28
<i>Tabela 1.5 Fórmulas químicas do poliuretano, elastano e poliamida [18].</i>	29
<i>Tabela 1.6 Algumas propriedades que diferem entre as duas formas de tricotagem [23].</i>	31
<i>Tabela 2.1 Descrição e características das amostras usadas na atividade experimental.</i>	32
<i>Tabela 3.1 Imagens da câmara termográfica das comparações entre amostras ao longo do tempo.</i>	46
<i>Tabela 3.2 Dados mais relevantes dos têxteis caracterizados por aquecimento infravermelho.</i>	48
<i>Tabela 3.3 Dados mais relevantes dos têxteis no aquecimento infravermelho com termopares.</i>	54
<i>Tabela 3.4 Dados mais relevantes das amostras têxteis de poliéster no aquecimento infravermelhos com termopares.</i>	57
<i>Tabela 3.5 Ângulo de contacto médio das amostras de seda 3D, poliéster branco 2D, poliéster coolmax laranja 2D, poliéster coolmax laranja reverso 2D, poliéster rosa 2D e poliéster vermelho 2D.</i>	59



## **Lista de abreviaturas**

CeNTI – Centro de Nanotecnologia e Materiais Técnicos, Funcionais e Inteligentes

PP – Polipropileno

PE – Poliéster

COPA – Copoliamida

PEC – Poliéster coolmax

IV – Infravermelho

FTIR-ATR – Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier com Refletância Total Atenuada

CITEVE – Centro Tecnológico das Indústrias Têxtil e do Vestuário de Portugal

UV – Ultravioleta

VIS – Visível

Rpm – Rotações por minuto



# 1 Introdução

## 1.1 O setor têxtil e a sua abrangência

Os grandes desenvolvimentos científicos e tecnológicos em áreas como a micro-eletrónica, as ciências de computação e a biotecnologia, criaram no setor têxtil uma nova geração de produtos designados por têxteis funcionais e inteligente. Estes materiais possuem capacidades diversas de deteção e interação com o meio envolvente [1-3].

O sector têxtil apresenta uma elevada complexidade devido sobretudo à existência de uma multiplicidade de operações desde a produção da fibra ao produto final, passando pela diversidade dos materiais utilizados. A existência de diferentes processos produtivos e a heterogeneidade dos produtos fabricados são outros aspetos importantes, que reforçam a complexidade da área (figura 1.1) [4].

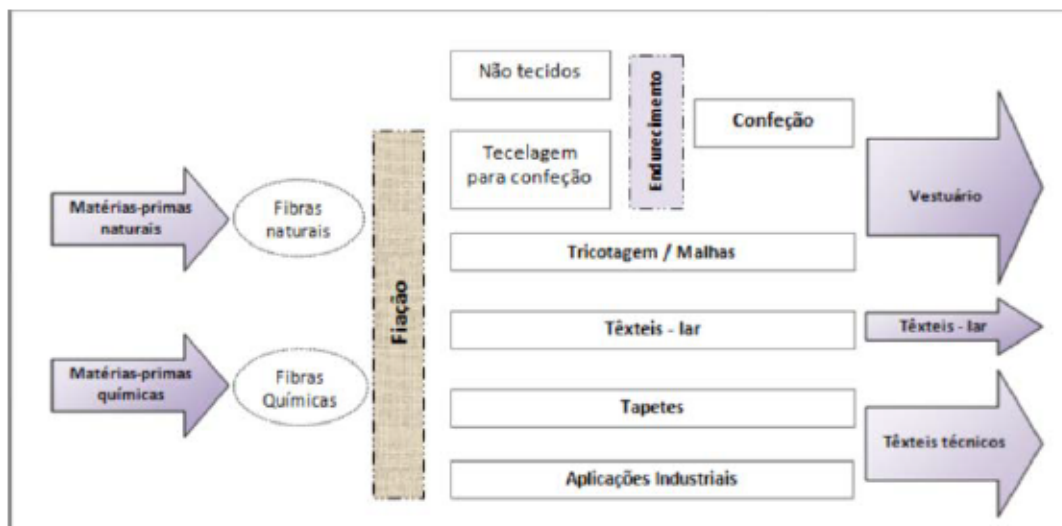


Figura 1.1 Esquema simplificado das várias etapas tipicamente associadas ao setor têxtil [4].

A transformação das matérias-primas têxteis no produto final exige a existência de um grande número de estruturas intermédias, nomeadamente fibras, fios e tecidos, envolvendo a realização de uma vasta diversidade de operações. As principais aplicações dos têxteis são o vestuário (de tecido e de malha), os têxteis-lar (incluindo os tapetes), os artigos industriais, as cordas e as redes [4].

Relativamente às fibras utilizadas na indústria têxtil, estas podem ser de origem natural - encontradas na natureza; ou químicas - obtidas por processos industriais. As fibras naturais podem ser divididas em [4, 5]:

- fibras de origem vegetal: algodão, linho, cânhamo, juta, sisal, ramie, etc.;
- fibras de origem animal: lã e seda;
- fibras de origem mineral: amianto.



No que diz respeito às fibras químicas, estas são subdivididas em:

- fibras artificiais: resultam do tratamento químico de matérias naturais (como a celulose), sendo de referir entre essas fibras o cupro, o acetato e o modal;
- fibras sintéticas: resultam de uma síntese química, podendo ser de dois tipos: orgânicas (como, por exemplo, o polipropileno, o poliéster, o elastano, a poliamida e o acrílico) ou inorgânicas (como a fibra de vidro).

De uma forma simplificada, é possível classificar as matérias-primas de acordo com a sua origem: naturais (que, genericamente, incluem as fibras de origem animal e vegetal) e obtidas por via química (que incluem as fibras artificiais e sintéticas).

É também possível identificar três processos produtivos distintos: tecidos, malhas e não tecidos. A fileira dos tecidos tem aplicações finais no vestuário (sobretudo no vestuário exterior), nos têxteis-lar e nos têxteis técnicos. A área das malhas tem como principais produtos finais o vestuário (interior e exterior) e os têxteis técnicos. A área dos não tecidos apresenta uma maior expressão nos têxteis técnicos. Esta variedade de matérias-primas, operações e produtos é reforçada pela adopção de estratégias de diferenciação por parte das empresas produtoras, que segmentam os seus mercados de acordo com as características dos clientes, o que consequentemente aumenta a complexidade da indústria têxtil [4].

A classificação da indústria têxtil em subsectores sofreu alterações ao longo dos anos. De acordo com Araújo e Castro (1984) [4], até à Segunda Guerra Mundial a divisão da indústria têxtil por sectores era realizada com base na matéria-prima utilizada, independentemente dos métodos de produção utilizados e da finalidade dos produtos. Desta forma, a indústria era subdividida no sector do algodão, no sector da lã, no sector do linho, no sector da seda, etc. Depois da Segunda Guerra Mundial, a indústria têxtil passou por grandes transformações, entre as quais se salientam: a descoberta das fibras sintéticas, o aparecimento de novos métodos de produção e a transferência da indústria têxtil para o Sul. Em resposta a estas evoluções, a desagregação da indústria têxtil passou a contemplar os métodos de produção utilizados (divisão por processo baseada na especialização de funções), e a finalidade dos produtos (critério segundo o qual se distinguem os produtos finais de acordo com a sua utilização, o que poderá dar origem a subsectores como o do vestuário, dos têxteis-lar, da cordoaria e redes e dos têxteis técnicos).

A indústria têxtil moderna engloba várias cadeias de produto, incluindo o vestuário, transportes, construção civil, saúde, têxteis-lar, desporto e lazer, áreas militares e da defesa, entre outras. O mercado têxtil tornou-se global, o desenvolvimento de produtos têxteis multidisciplinar e os materiais baseados em fibras possuem hoje propriedades muito diversas e únicas (flexibilidade, conforto, elevado rácio resistência/peso, entre outras). Por estas razões, são continuamente investigadas novas aplicações para estes materiais [3].

Com os avanços em inovação resultantes da ciência, arte, cultura, etc., os produtos têxteis ativos e multifuncionais terão tendência para substituir os produtos mais tradicionais. Por exemplo,



uma peça de vestuário poderá estimular, monitorizar e controlar muitas funções vitais do nosso corpo, contribuindo, assim, para melhorias significativas da qualidade de vida.

## **1.2 Têxteis funcionais em medicina e em cuidados de saúde**

As propriedades dos têxteis, tais como a flexibilidade para se adaptar ao corpo, o conforto ao toque, a maciez e a capacidade de serem usados em vestuário, são fundamentais para serem integrados em aplicações inteligentes [1]. Com o aumento da esperança média de vida da população mundial e com o aumento das expectativas da população para uma melhor qualidade de vida, verifica-se uma pressão acrescida sobre os sistemas de cuidados médicos. A investigação em têxteis funcionais é uma estratégia importante para satisfazer estas necessidades no sentido de tornar estes sistemas mais eficientes, inteligentes e com funcionalidades específicas para o setor médico. Estas inovações podem ser encontradas em aplicações diversas: vestuário, ligaduras, implantes cirúrgicos, roupas de cama, etc. Estes sistemas inteligentes têm como objetivo proporcionar uma relação perfeita entre têxteis e tecnologia tanto no tratamento de doenças e lesões, como no auxílio do diagnóstico e monitorização dos sinais vitais, entre outras. Uma das vantagens diretas do uso de têxteis funcionais na área biomédica é reduzir o tempo de permanência do utilizador nos hospitais [1, 2, 6].

O vestuário funcional representa um segmento evolutivo no mercado de têxteis funcionais, sendo uma área onde se integram novos domínios como o da medicina, biotecnologia, nanotecnologia, física e informática, entre outros, para atender a diversas e complexas exigências do utilizador final. "Vestuário funcional" pode, portanto, ser definido como um termo genérico que inclui todos os tipos de roupas ou conjuntos que são especificamente projetados para fornecer um desempenho ou funcionalidade pré-definida para o utilizador, para além das suas funções normais. Este vestuário, elaborado a partir da conjugação de materiais inovadores, e de novas funcionalidades, implicará um valor acrescentado. Este tipo de vestuário pode por exemplo [7]: ter uma função de proteção em indivíduos que estão expostos a ambientes perigosos ou durante a prática de atividades desportivas, facilitar o movimento e equilíbrio corporal em indivíduos portadores de deficiência; aumentar a resistência ou reduzir a fadiga em pessoas de praticam desportos, ter funcionalidades eletrónicas com aplicações em comunicação e medicina, entre outras. Este vestuário inovador é projetado de modo a ter um efeito inibitório mínimo no movimento e fornecer o máximo de conforto e desempenho para o utilizador.

### **1.2.1 Classificação do vestuário funcional**

Os têxteis técnicos, podem ser classificados em [7]: "Protech" (têxteis de proteção), "Sportech" (têxteis desportivos) e "Meditech" (têxteis médicos). Esta designação abrange principalmente os materiais (o têxtil) e geralmente não se refere ao produto final, a não ser que o produto se comercialize nessa forma como, por exemplo, no caso dos geotêxteis. Quando aplicada ao vestuário, os novos produtos são coletivamente denominados como "vestuário funcional". A concepção e desenvolvimento de produtos de vestuário funcionais é impulsionada pela escolha de

materiais, tendo em conta as necessidades sociais, psicológicas ou fisiológicas do utilizador; a escolha de tecnologias, definida por uma funcionalidade desejada; e considerações ergonômicas, métodos de montagem, dimensionamento e ajuste. A seguinte classificação baseia-se em parâmetros relativos ao desenvolvimento de produtos para uma funcionalidade particular.

A classificação proposta por Gupta (2011) [7] propõe seis classes de vestuário funcional, atualmente em desenvolvimento (Tabela 1.1). Poderão possivelmente surgir outros produtos inovadores dando origem a novas classes nesta área, para atender às exigências dos consumidores.

**Tabela 1.1 Classes de vestuário funcional [7].**

Classe	Subclasse	Descrição
Protetora-funcional	Proteção para ambiente perigoso	Proteção contra calor ou frio extremo, fogo, chuva, neve, poeira, vento ou exposição UV
	Proteção para ambientes biológicos, químicos e com radiação	Proteção contra ingestão, penetração ou contato com a pele de químicos perigosos, gases tóxicos, fluidos corporais, germes ou partículas radioativas
	Proteção de lesões	Proteção contra cortes, balística e impactos sem corte
Médico-funcional	Terapêutica e reabilitação	Pecas de vestuário de pressão linfática e doenças venosas, gestão de cicatrização
	Biosensores	Verificação de parâmetros fisiológicos, frequência cardíaca, oxigenação sanguínea, temperatura corporal, aplicações de telemedicina
Desportivo-funcional	-	Melhorar o desempenho, reduzir fadiga, moldar o corpo para a reduzir o atrito
Estético-funcional	-	Dar forma do corpo, de apoio e de contorno para uma melhor aparência
“cross-functional assemblies”	-	Desempenho multifuncional, proteção, suporte de vida, conforto, comunicação
Vestuário para necessidades especiais	-	Ativação de roupas para idosos, crianças, pessoas com deficiência

Durante um longo período de tempo, era dado o nome de vestuário médico a batas, aventais e luvas, usadas pelo doente e pelos profissionais de saúde. Hoje em dia o vestuário médico engloba aplicações muito mais amplas e sofisticadas, cobrindo áreas como a terapêutica, os biosensores, o atendimento de emergência e as atividades de reabilitação. A variedade e nível de sofisticação dos materiais e tecnologias utilizadas na sua produção melhorou consideravelmente desde a sua utilização que começou na década de 1970 [7].



### 1.2.2 Materiais funcionais e inteligentes em geriatria

Numa época em que existe um processamento têxtil especializado e uma elevada inovação tecnológica, encontramos-nos num ponto onde a eletrónica começa a estar incorporada em têxteis e em vestuário para produção em massa. É importante, portanto, compreender os desafios e limitações em termos de viabilidade de utilização e por outro lado ter em conta o tipo de utilizador final, tendo em consideração que hoje em dia estamos perante uma comunidade envelhecida.

No mercado atual, existem algumas soluções para os problemas que a população mais idosa requer na sua condição. As camas articuladas, os colchões de gel, as cadeiras de rodas mais leves e cómodas são exemplos que têm vindo a ser estudados e colocados no mercado com visa à satisfação das necessidades de uma faixa populacional crescente. No setor têxtil, foi recentemente desenvolvida pelo CeNTI [8] uma peúga EcoHighTec que integra um sistema de monitorização de parâmetros fisiológicos.

A qualidade de vida dos idosos pode, em muitos casos, ser substancialmente melhorada através da escolha de roupas funcionais, entre outros produtos têxteis. No entanto, existem várias razões pelas quais as possibilidades para esta escolha são ainda restritas. Por exemplo, pessoas com hipersensibilidade cutânea têm que ter em conta as propriedades táteis dos têxteis e evitar roupas com costuras pronunciadas [9]. Os doentes que se encontram durante um tempo prolongado de cama têm uma produção relativamente baixa de calor. Neste caso as propriedades de conforto térmico são importantes [9]. A transmissão de água (transpiração) a partir da pele é também um problema frequente [9]. Além disso, a durabilidade mecânica dos materiais utilizados pode ser um problema em muitos casos [9].

Para os consumidores, a escolha de produtos têxteis e de vestuário é regida por um grande número de diferentes necessidades e restrições. Um requisito básico é não causar desconforto para o utilizador. O conforto do vestuário compreende vários fatores e é avaliado a vários níveis [9]:

- Conforto térmico. Depende de quão bem a roupa transmite calor e evapora o suor da pele para o ambiente. A produção de calor do corpo tem de ser igual à perda de calor, com o intuito de manter o equilíbrio térmico. Num ambiente quente, o vestuário deve ter baixa resistência à perda de calor seco e a respirabilidade (transmissão de vapor de água) deve ser alta. Por outro lado, num ambiente frio ou para utilizadores com pouca ou nenhuma atividade física (baixa produção de calor pelo organismo) o isolamento térmico do tecido de vestuário deve ser elevado.
- Conforto tátil ou contacto mecânico entre o produto têxtil e a pele. É particularmente crítico em pessoas que estão sentadas ou deitadas por períodos prolongados. As propriedades táteis são dependentes das propriedades mecânicas do tecido (maciez, fricção, elasticidade, etc).
- Não causar alergias. As alergias causadas por fibras têxteis não são muito comuns. Contudo, os têxteis podem conter impurezas (materiais de coloração, agentes de acabamento,

acessórios como botões de metal, resinas de detergentes, etc) que proporcionam reações alérgicas.

- Tecidos não sujeitos a cargas estáticas. O choque de uma faísca pode dar origem nalgum momento, a movimentos descontrolados num doente, o que pode vir a ser um risco. As cargas estáticas em têxteis podem ocorrer especialmente em ambientes secos (no inverno), e as fibras sintéticas são particularmente problemáticas.
- Satisfação psicológica com o produto. Este tem de ser esteticamente atraente, elegante, em harmonia com a personalidade e apropriado para a situação de desgaste, a fim de não causar desconforto emocional.

Segundo Meinander (2002) [9], os requisitos funcionais do vestuário e outros produtos têxteis devem coincidir com as exigências de conforto. É expectável que o vestuário têxtil tenha um grau elevado de durabilidade. Um tecido de alta durabilidade (isto é, possuir uma elevada resistência mecânica e estabilidade dimensional) pode ser um tecido grosso e alta densidade, mas que consequentemente seja duro e mecanicamente menos confortável. Para indivíduos acamados durante longos períodos de tempo, o equilíbrio térmico entre o corpo e o ambiente é especialmente crítico. Pessoas com determinadas deficiências e idosos têm a circulação sanguínea enfraquecida e, consequentemente baixa produção de calor. Este grupo de pessoas pode precisar de materiais que apresentem propriedades de resistência térmica superiores. A maneira mais comum de evitar a perda de calor é adicionar camadas de vestuário e mais roupas de cama uma vez que o ar ligado entre as camadas funciona como isolante. Os têxteis com maior espessura têm uma maior quantidade de ar associado à sua estrutura e, por isso, apresentam-se com maior resistência térmica relativamente a materiais finos e lisos. No entanto, estes materiais impedem a respiração através das baixas propriedades de transmissão de humidade. O vestuário e têxteis de cama têm um contacto muito próximo com a pele para doentes acamados. Por conseguinte, as propriedades tácteis deste tipo de materiais são extremamente importantes. A rugosidade da superfície, as matérias-primas e os agentes de acabamento não devem causar reações alérgicas mecânicos nem fisiológicas.

### **1.3 Da fibra ao têxtil: materiais e tecnologias de processamento**

A fibra é o material de base de qualquer produto têxtil. Este tipo de estrutura é a primeira a contribuir para as propriedades do produto. A fibra é a unidade de matéria caracterizada por ter flexibilidade, baixa espessura e com um comprimento tão elevado quanto se desejar. As fibras apresentam uma superfície elevada em relação ao volume, e podem ser materiais extremamente resistentes [10].

Segundo Figueiro [10], as fibras são normalmente constituídas por uma cadeia longa de moléculas conhecida por macromoléculas ou polímeros, que podem ter natureza orgânica ou inorgânica. Estas moléculas são capazes de se orientar e “encaixar” dando origem a regiões de maior cristalinidade. O grau de orientação destas regiões é um fator importante para determinar a aplicação da fibra. Existem outras regiões onde as moléculas não se unem, formam arranjos aleatórios ou

regiões amorfas. As regiões cristalinas proporcionam resistência e rigidez às fibras, enquanto as regiões amorfas são responsáveis pela flexibilidade e reatividade. A proporção entre regiões amorfas e cristalinas tem uma influência importante nas propriedades das fibras.

De acordo com a sua natureza, as fibras têxteis podem ser classificadas em fibras naturais, quando são extraídas na natureza sob uma forma que as torna aptas para o processamento têxtil, e fibras não naturais quando produzidas por processos industriais. As fibras de alto desempenho são geralmente fibras não naturais, que são construídas para aplicações específicas em termos de força, rigidez, resistência ao calor e resistência a químicos [10, 11]. Dentro das fibras não naturais existem as fibras sintéticas e as artificiais.

### **1.3.1 Fibras naturais**

As fibras naturais são aquelas que podem ser encontradas na natureza. Como anteriormente referido, estas fibras podem ter uma origem vegetal (algodão e linho), animal (lã, seda) ou mineral (amianto)[5]. A figura 1.2 apresenta um esquema elucidativo das fibras têxteis naturais.

Estas fibras, destinadas à produção têxtil, apresentam uma importância a nível ambiental relevante uma vez que são um recurso renovável, e apresentam um baixo custo, já que, não implicam processos químicos agressivos durante a sua obtenção. As fibras naturais apresentam algumas vantagens sobre as fibras sintéticas tais como: baixa densidade, baixo custo, baixo consumo de energia, reciclabilidade e excelentes propriedades termoacústicas [5]. Têm a capacidade de absorver grandes quantidades de humidade corporal [5, 12]. Cada tipo de fibra é utilizada de acordo com as propriedades que apresenta. Na tabela 1.2 encontram-se representadas as características mais importantes para cada uma das fibras naturais acima mencionadas.





Figura 1.2 Esquema exemplificativo das fibras têxteis naturais.

Tabela 1.2 Características físicas das fibras têxteis naturais mais utilizadas [6].

Fibra	Absorção de umidade	Elasticidade	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Resistência	Sensibilidade à luz	Sensibilidade à água	Sensibilidade à temperatura (°C)
Algodão	7,5 a 8,2	Baixa	1,53/1,55	Baixa	Pequena perda de resistência	Pouco sensível	Decompõe a 160 e carboniza a 300
Lã	13 a 18	Elevada	1,30/1,34	Elevada	Pouco sensível	Pouco sensível	
Seda	10,5 a 13	Média	1,23/1,27	Elevada	Pouco sensível	Pouco sensível	
Linho	9,5 a 11	Muito baixa	1,53/1,55	Muito baixa	Perde a resistência	Resistente	

## O algodão

Este tipo de fibra é proveniente das sementes de algodão (*Gossypium*). O algodão é uma fibra forte e com boa capacidade de absorção, tornando-se um têxtil confortável e de longa duração, constituindo assim uma das principais fibras para aplicações têxteis. É a fibra têxtil natural mais utilizada na atualidade e tem como propriedades principais a frescura, flexibilidade, boa resistência mecânica, toque agradável, resistência ao uso e é de relativamente baixo custo [3, 12, 13]. As características consideradas menos vantajosas são a tendência a encolher e a amarrotar, sendo atacado por fungos [3, 12, 13]. Queima com facilidade e não suporta os ácidos.

O algodão é constituído maioritariamente por celulose. A sua estrutura química está representada na figura 1.3 [14]:

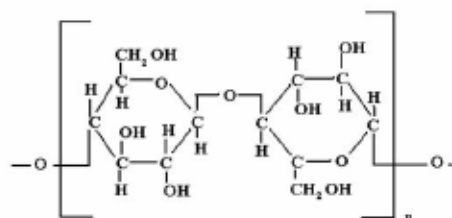
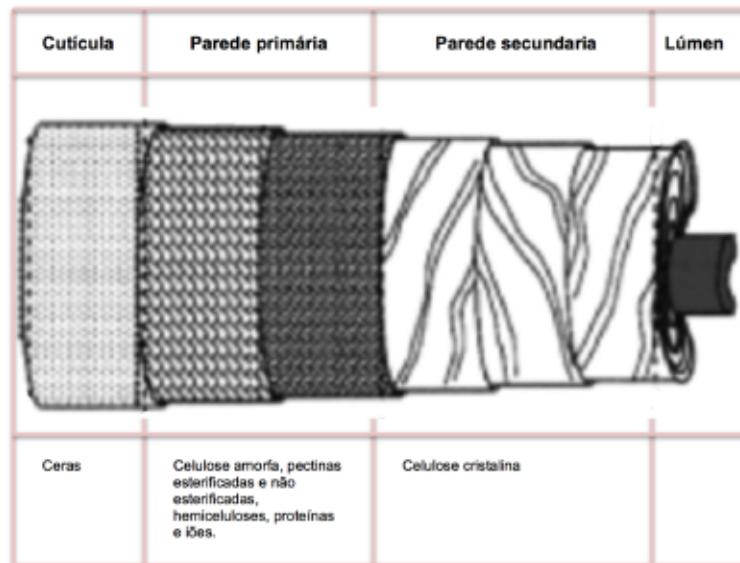


Figura 1.3 Estrutura química do algodão [14].

A estrutura das fibras de algodão tem vindo a ser estudada há quase um século. Consiste em múltiplas camadas conhecidas por cutícula, parede primária, parede secundária e lúmen (figura 1.4). A camada mais externa das fibras (a cutícula), tem uma grande influência sobre as propriedades das fibras, processamento e uso [13]. Ao microscópio, a fibra de algodão apresenta-se com uma espécie de torcidas chamadas circunvoluções: há cerca de 60 circunvoluções por centímetro. As circunvoluções vão fazer com que a superfície da fibra seja irregular, resultando num aumento do atrito inter-fibra, o que permite a fiação dos fios finos do algodão. A cutícula é constituída maioritariamente por gorduras e ceras. A parede primária da fibra compreende substâncias não celulósicas e celulose amorfa que não se encontram organizadas, por isso a superfície da parede primária encontra-se desorganizada [13]. Celulose, hemicelulose, pectinas e proteínas são os constituintes básicos responsáveis pelas interligações nesta camada. A parede secundária, na qual apenas está presente a celulose cristalina, é altamente ordenada e tem uma estrutura compacta, com as fibrilas de celulose paralelas umas às outras [13]. A camada mais interna, o lúmen, apresenta-se sob a forma de um canal central. Desempenha um papel muito importante no crescimento da fibra, pois é constituído por restos do protoplasma da célula que deu origem à fibra [13]. Por este motivo, contém substâncias proteicas, sais minerais e um corante [13].



**Figura 1.4 Modelo morfológico da fibra de algodão.**

### A seda

A seda é uma fibra animal produzida por certos insetos para construir os casulos e as teias. Embora muitos insetos produzam seda, apenas a seda produzida pela espécie *Bombyx mori* é utilizada pela indústria de seda têxtil [13]. Ao longo dos séculos, a seda foi uma fibra têxtil altamente valorizada. As suas qualidades de resistência, elasticidade, brilho, maciez, absorção, afinidade para corantes e adaptabilidade a diversas formas de torção continuam a satisfazer as diversas exigências do mercado. Apesar da grande utilização de fibras sintéticas ou artificiais, a seda continua a ser o têxtil de eleição no que diz respeito a roupas de luxo e produtos especializados de alta qualidade [13]. Devido às características deste tipo de fibra natural, tais como a elevada resistência, brilho e capacidade de se ligar a corantes químicos, a seda é ainda hoje considerada um material têxtil de eleição [13].

As fibras de seda têm excelentes propriedades naturais que mesmo muitos polímeros sintéticos mais avançados não conseguem alcançar. As fibras de seda (figura 1.5) são compostas essencialmente por fibroína na camada interior e sericina na camada exterior. Cada fio de seda é composto por dois filamentos de fibroína, incorporados na sericina [13].



**Figura 1.5 Fibra de seda [15].**



A sua composição difere de autor para autor sendo geralmente: 70- 75% de fibroína, 20-25% de sericina, 2-3% de substâncias cerosas, e 1,0-1,7% de matéria mineral [16]. A sericina é amorfa e solúvel em água quente, em diversas soluções iônicas alcalinas (ex: carbonato de sódio) ou de saponificação [16]. A fibroína tem a forma de filamento e dissolve-se em diversas soluções iônicas concentradas, como por exemplo brometo de lítio. A temperatura atua aqui como elemento fundamental para acelerar o processo de dissolução. Tanto a fibroína como a sericina são proteínas constituídas por 16-18 aminoácidos. A glicina, a alanina, a serina e a tirosina compõem a maior parte da fibra de seda e sendo os restantes aminoácidos que contêm grupos laterais volumosos pouco significativos, ver tabela 1.3.

**Tabela 1.3 Composição de aminoácidos de sericina e fibroína [16].**

Aminoácido	Grupos laterais	Sericina (% mol)	Fibroína (ømol)
Glicina	H -	14,75	45,21
Alanina	CH <sub>3</sub> -	4,72	29,16
Serina	CH <sub>2</sub> (OH) -	34,71	11,26
Tirosina	OHC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> CH <sub>2</sub> -	3,35	5,14

A fibroína contém uma quantidade mínima de aminoácidos ácidos e de cadeia lateral com enxofre. Os grupos químicos mais importantes são os que dão origem às pontes de hidrogénio, os grupos amina e carboxílico que originam pontes salinas e forças Van der Waals [16]. O polímero tem um elevado grau de orientação molecular que se reflete na excelente resistência das fibras de seda [16].

### 1.3.2 Fibras não naturais

As fibras não naturais, são também chamadas de “fibras feitas pelo homem” (man-made fibers em inglês). Estas podem ser divididas em dois grupos: fibras artificiais e fibras sintéticas.

#### 1.3.2.1 Fibras artificiais

As fibras artificiais são produzidas utilizando como matéria-prima produtos naturais, maioritariamente a celulose. A produção deste tipo de fibras não naturais é nos dias de hoje uma das indústrias mais eficientes e importantes do mundo [17]. A celulose usada para o processamento de fibras artificiais está disponível em quantidades ilimitadas, e o processamento e manufatura está constantemente a ser desenvolvido e aperfeiçoado [17].

### O cupro

Em 1890, o químico francês Louis Henry Despeissis, descobriu que a celulose podia ser dissolvida numa solução de cupramônio que consiste numa mistura de sais de cobre e amoníaco [17]. Assim sendo, foi inventado um novo processo para a fabricação de fibras artificiais. A solução foi extrudida através de pequenos orifícios dentro de um banho, onde de celulose foi regenerada para formar filamentos contínuos [17]. Esta fibra conseguiu atingir uma produção em grande escala devido a características específicas que lhe permitiu estabelecer pontos de venda importantes no comércio têxtil [17].

O cupro é o têxtil mais parecido com a seda e tem filamentos extremamente finos. Algumas propriedades desta fibra estão enunciadas na tabela 1.4. É fino, tem extrema força e brilho moderado [17].

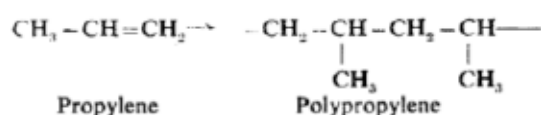
**Tabela 1.4 Propriedades do cupro [17].**

Alongamento		Propriedades elásticas	Efeito da humidade	Efeito do calor	Efeito da luz solar	Propriedades químicas	Efeito de solventes orgânicos
Seco: 10-17%	Molhado: 17-33%	20-75%	Aumento de volume e perda de força	Decomposição a 250°C	Exposição prolongada causa degradação e perda de força	Não é afetado por oxidantes fracos. Agentes oxidantes fortes causam degradação	Geralmente insolúvel

### 1.3.2.2 Fibras sintéticas

#### O polipropileno

Dentro das fibras poliolefinas, encontra-se a fibra de polipropileno. As olefinas são hidrocarbonetos insaturados de cadeia aberta que são capazes de sofrer polimerização de adição, o propileno e o etileno são exemplos disso [17].



**Figura 1.6 Polimerização do polipropileno [17].**

As fibras de polipropileno combinam propriedades que são aplicáveis em toda a área têxtil. Além disso, são feitas de uma matéria-prima de baixo custo, o propileno, que está disponível em quantidades quase ilimitadas na indústria do petróleo [17]. Dentro das principais vantagens

distinguem-se o proporcionar excelente volume e poder de cobertura, boa resistência à abrasão, secagem rápida, boa resistência à deterioração, boa resistência à luz e ao sol, proporcionar um bom conforto, ser bastante leve e ter um baixo ponto de fusão [12, 16].

Os filamentos das fibras de polipropileno, são produzidos a partir de propileno usando catalisadores especiais [16]. No processo de polimerização, a ligação dupla do polipropileno é quebrada e conseqüentemente adição de monómeros. O polipropileno não modificado é altamente cristalino, e a absorção de humidade de polipropileno é muito baixa [16].

### O poliéster

Os poliésteres são polímeros feitos por uma reação de condensação que ocorre entre pequenas moléculas, cuja ligação ocorre através da formação de grupos éster [17]. É uma fibra formada por macromoléculas lineares que apresentam na cadeia, pelo menos 85%, em massa de éster de diol e de ácido tereftálico [3, 12]. A formação de poliésteres foi estudada por Wallace H. Carothers de du Pont durante a investigação de polímeros que levou à descoberta de nylon [17].

As fibras de poliéster não têm afinidade com a água, têm boa resistência à luz e ao uso, são anti-rugas e podem receber tratamento para não encolher [16]. Têm boa elasticidade e resistem à maior parte dos produtos químicos. São fáceis de tratar e secam rapidamente, podendo-se alterar com a exposição prolongada à luz solar. Têm fraco poder isolante, derretem e encolhem com o calor, formando gotas que aderem à superfície em contacto [3]. Apresentam elevada estabilidade e elasticidade de forma e dimensão e são minimamente resistentes à luz e condições climáticas [3]. Outras principais propriedades são: bom isolamento térmico, ótima resistência mecânica, fácil cuidado, boa estabilidade dimensional e desenvolve electricidade estática [12].

A maioria dos poliésteres usados têm como fórmula química [18]:

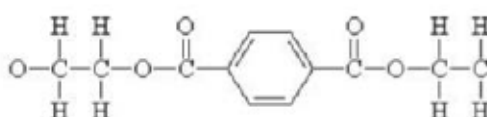


Figura 1.7 Fórmula química da maioria dos poliésteres [18].

Em geral as amostras de poliéster contêm pequenas quantidades de poliuretano, elastano e poliamida (Tabela 1.5) [18]. São exemplo disso as amostras usadas no procedimento experimental.

Tabela 1.5 Fórmulas químicas do poliuretano, elastano e poliamida [18].

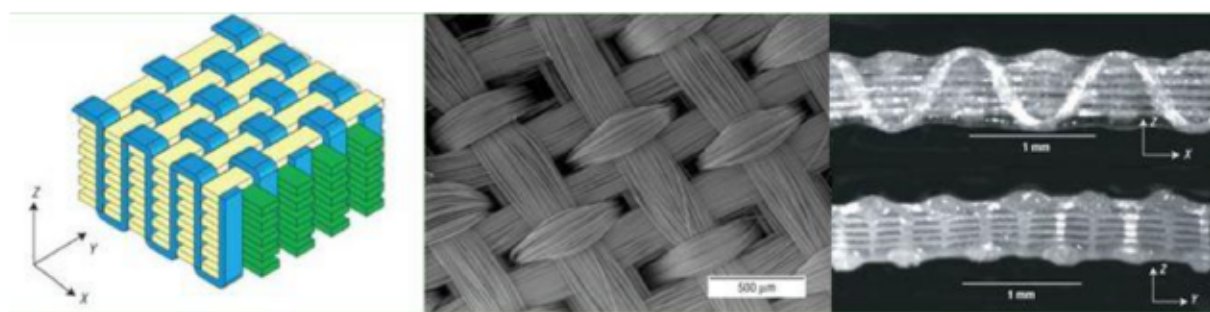
Poliuretano	Elastano	Poliamida



### 1.3.3 Têxteis tri-dimensionais (3D)

Com o intuito de melhorar as propriedades e a funcionalidade dos têxteis, a tecnologia de tecelagem tridimensional abriu caminho para novos desenvolvimentos na área dos têxteis técnicos [12]. Os têxteis 3D apresentam vantagens relativamente a outras estruturas, principalmente devido à flexibilidade e à capacidade de conceção que pode ser adaptado para a produção de arquiteturas com propriedades controladas e previamente estabelecidas, de acordo com os requisitos finais [19, 20]. Esta flexibilidade é devida à ampla gama de variações estruturais e tecnologias disponíveis [20]. Neste sentido, e dado o elevado controlo ao nível da produção, os têxteis podem ser aplicados numa grande variedade de aplicações médicas, de acordo com a necessidade dos pacientes [19]. A pele constitui uma das aplicações mais óbvias para os biotêxteis, como é o caso das compressas utilizadas em feridas ou produtos em engenharia de tecidos [19]. Apesar de alguns dos têxteis tradicionais cumprirem com as principais exigências de qualidade, tais como biocompatibilidade, flexibilidade e resistência, há uma necessidade de desenvolvimento de novos sistemas para atender às funções mais exigentes e especializadas [19].

As estruturas têxteis 2D convencionais têm sido desenvolvidas para serem usadas em várias aplicações médicas. O vestuário cirúrgico, as meias de compressão, os dispositivos implantáveis cirurgicamente para reparar certos tecidos e órgãos são alguns exemplos de aplicação deste tipo de têxteis. Esta diversidade de aplicações é devido à versatilidade e flexibilidade que apresentam [20]. Atualmente, as estruturas 3D têm vindo a ser utilizadas em aplicações biomédicas avançadas como por exemplo a engenharia de tecidos [20]. Moutos, *et al* (2007) na Duke University demonstraram as vantagens da utilização de uma estrutura 3D para engenharia de tecidos de cartilagem tal como mostrado na figura 7 [21]. Acredita-se que a estrutura apresenta uma maior resistência à compressão, resistência à tração e módulo de Young, o que é requisito fundamental para este tipo de tecido biológico [20].



**Figura 1.8 Estrutura têxtil 3D desenhada para engenharia de tecidos de cartilagem [21].**

Existem vários tipos de têxteis 3D, entre os quais os que resultam da união de duas telas tecidas simultaneamente uma sobre a outra e devidamente ligadas de modo a constituir um único tecido [22]. O lado superior e o lado inferior da tela formam a parte visível do tecido. Também conhecidos como tecidos duplos, estes possuem uma grande variedade de utilizações, tais como

[22]: toalhas de mesa, tecidos decorativos para estofos e cortinados, fraldas e vestuário para bebê, gravatas, fatos de homem, casacos de senhora, entre outros.

Os têxteis tridimensionais são classificados conforme o processo de ligação das duas telas. Desta forma é possível classificá-los como [22]:

- Ligados por si próprios;
- Ligados por fios suplementares de ligação;
- Ligados por mudança de tela.

Nos têxteis 3D ligados por fios suplementares de ligação, a junção entre a tela superior e a tela inferior pode ser feita por fios ou passagens suplementares que não pertencem a nenhuma das telas, mas que as ligam alternadamente [22]. O mais comum é a utilização de fios suplementares para que a ligação fique suficientemente forte [22].

Para a produção destes têxteis, existem duas formas diferentes de tricotagem: a *warp knitting* e a *weft knitting*. Em *warp knitting* (figura 1.9a), o fio suplementar desloca-se numa direção predominantemente vertical através do tecido, e em *weft knitting* (figura 1.9b) fio viaja numa direção predominantemente horizontal em toda a malha. As propriedades estruturais dos tecidos produzidos por estas duas diferentes técnicas podem variar consideravelmente (ver tabela 1.6).

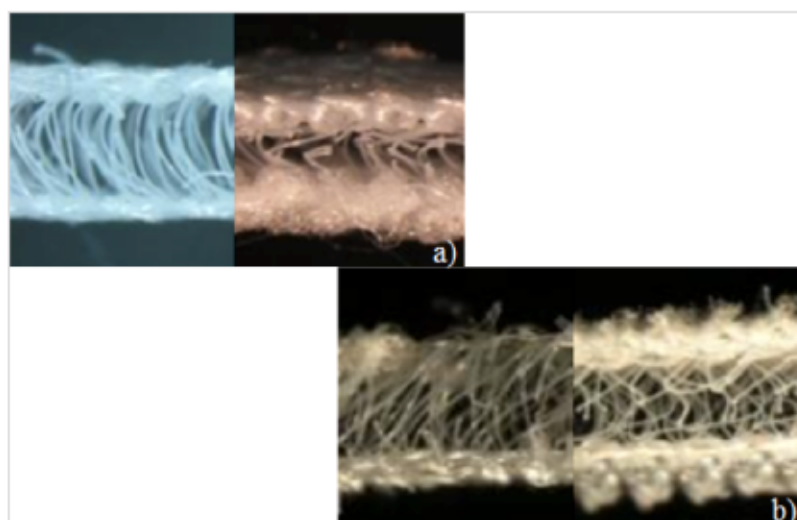


Figura 1.9 Formas de tricotagem em *warp knitting* (a) e em *weft knitting* (b) [20].

Tabela 1.6 Algumas propriedades que diferem entre as duas formas de tricotagem [23].

<i>Warp knitting</i>	<i>Weft knitting</i>
É elástica ao comprimento	É elástica para a largura
Menor elasticidade	Maior elasticidade
Menor contrabilidade	Maior contrabilidade
Menor força	Maior força

## 2 Materiais e Métodos

O trabalho experimental foi realizado no Centro de Nanotecnologia e Materiais Técnicos Funcionais e Inteligentes (CeNTI) situado em Vila Nova de Famalicão, Portugal.

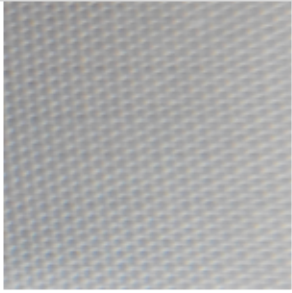
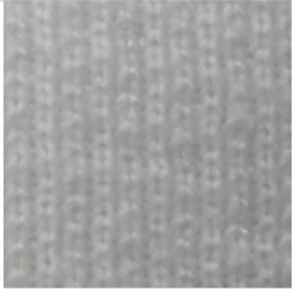
### 2.1 Materiais e processamento

Neste trabalho, foram estudados têxteis 3D à base de seda e cupro/polipropileno e têxteis 2D de algodão e poliéster com composições e características estruturais diferentes entre eles. Todas as amostras têxteis 2D e 3D foram produzidas pela empresa Nordstrom à exceção da amostra 2D de algodão usada como controlo, que foi fornecida pelo CeNTI.

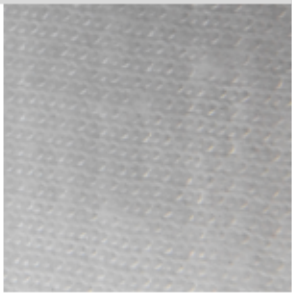
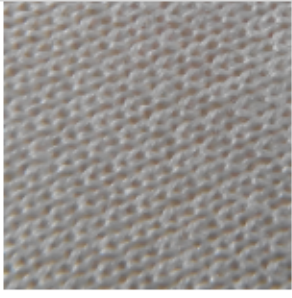




As arquiteturas 3D obtidas foram processadas usando a tecnologia de *weft knitting*. São compostas por duas camadas têxteis espaçadas por um monofilamento de polipropileno (PP) para aumentar a tridimensionalidade e robustez têxtil. A amostra 3D de seda é composta por duas camadas de seda natural, e a amostra 3D de cupro/polipropileno é composta por uma camada de cupro e outra camada de polipropileno.

A tabela 2.1 apresenta todas as amostras usadas na atividade experimental assim como as características e especificações das mesmas. As imagens foram obtidas através de uma lupa Carson com ampliação 10x para uma melhor visualização das diferenças estruturais.

Tabela 2.1 Descrição e características das amostras usadas na atividade experimental.

Descrição da amostra	Identificação	Composição	Gramagem/Gramagem experimental (g/m <sup>2</sup> )	Imagem
Algodão 2D	Algodão2D	100% Algodão	- / 109,75	
Cupro/Polipropileno 3D	Cupro3D/ PP3D	Polipropileno; Fio de polipropileno; Cupro	- / 504,75	



				
Seda 3D	Seda3D	Seda; Fio de polipropileno	- / 692,00	
Poliéster de cor branca	PEBranco	88% poliéster; 5% elastano; 7% COPA (copoliâmida)	275,00 / 285,75	
Poliéster coolmax de cor laranja	PECLaranja PECLaranja_Reverso	40% poliéster coolmax; 33% poliamida; 16% elastano; 11% COPA (copoliâmida)	285,00 / 309,25	
Poliéster de cor rosa	PERosa	85% poliéster; 15% poliuretano	285,00 / 297,75	
Poliéster de cor vermelha	PEVermelho	88% poliéster; 12% poliuretano	300,00 / 337,50	

Para remover o tratamento dado aos têxteis na fase de processamento, as amostras foram submetidas a cinco ciclos de lavagem com 30 gramas de detergente padrão (padrão 2470 ECE phosphate reference detergent B) a uma temperatura de 40°C durante 123 minutos.

## **2.2 Espetroscopia de infravermelho por transformada de Fourier com refletância total atenuada**

A espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) é uma técnica de caracterização que permite a análise da estrutura molecular em diversos materiais. A análise do espectro de infravermelho disponibiliza informações das amostras, tais como, o tipo de ligações que estão presentes nas moléculas e o seu estado conformacional, etc [24].

A espectroscopia de infravermelho por refletância total atenuada baseia-se em transições entre níveis vibracionais induzidas por radiação electromagnética na região do infravermelho. Os diferentes tipos de ligações químicas existentes em moléculas ou sólidos possuem modos vibracionais específicos que consequentemente absorvem energias específicas, permitindo assim identificar os tipos de ligações que estão presentes em compostos moleculares ou sólidos.

A técnica FTIR-ATR é bastante útil para substratos têxteis uma vez que estes não podem ser diluídos para serem analisados. O espectro da amostra é obtido, colocando a amostra em contacto com um cristal de seleneto de zinco. Embora ocorra completa reflexão interna na interface cristal/amostra, a radiação penetra a uma pequena distância dentro da amostra [25]. Esta penetração é chamada de onda evanescente [25]. A amostra interage assim, com a onda evanescente, resultando na absorção da radiação, dando origem a um espectro [25]. Neste trabalho foi usado o espectrofotómetro Perkin Elmer de modelo Universal ATR Sampling Accessory, em que o comprimento de onda seleccionado foi de 4000  $\text{cm}^{-1}$  a 650  $\text{cm}^{-1}$ . O número de scans foi de 16 e a resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ .

## **2.3 Caracterização térmica**

### *Por aquecimento infravermelho*

O conhecimento das propriedades térmicas de um têxtil é de extrema importância tendo em conta aplicações em áreas como a geriatria. Com o objetivo de perceber a reação de diferentes tipos de têxteis quando expostos a diferentes temperaturas e o grau de isolamento térmico adjacente às estruturas, efetuou-se a caracterização térmica dos mesmos expondo-os a radiação infravermelha. O sistema consiste no aquecimento das estruturas através de duas lâmpadas que emitem radiação IV. A câmara termográfica FLIR SYSTEMS ThermoVision™ A320 capta a radiação proveniente dos têxteis e converte internamente em temperatura. O computador com um software incorporado regista temperaturas ao longo do tempo desejado.



### *Por aquecimento infravermelho com termopares*

Esta técnica avalia as reações térmicas dos têxteis tanto na face exterior, quando expostos a diferentes temperaturas, como na face interior, simultaneamente. Com o intuito de perceber o comportamento dos diferentes tipos de têxteis na face que se encontrará em contacto com a pele (face interior), introduziram-se termopares para efetivar o registo das temperaturas ao longo do tempo.

O sistema consiste no aquecimento das estruturas através de duas lâmpadas que emitem radiação IV. A câmara termográfica FLIR SYSTEMS ThermoVision™ A320 e os termopares gravam simultaneamente as temperaturas na face exterior e interior das amostras, respetivamente. O computador com o software incorporado regista a temperatura em ambas as faces das estruturas ao longo do tempo desejado – cerca de 20 minutos para o aquecimento e 20 minutos para o arrefecimento.

Na montagem experimental, o termopar encontra-se em contacto com uma fita isoladora, ar e com a amostra a tapar a parte superior (figura 2.1), o que não permite que o calor recebido pelas lâmpadas dissipe. Esta situação faz com que as temperaturas na face interior sejam superiores às da face exterior. Esta situação pode não corresponder ao caso prático, quando o material estiver em contacto com a pele.

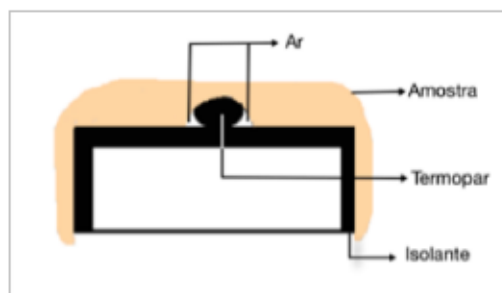


Figura 2.1 Esquema exemplificativo da montagem de caracterização térmica com termopares.

## **2.4 Absorção de água**

Os têxteis são capazes de absorver grandes quantidades de suor, de modo a remover a humidade na superfície da pele e manter o corpo seco. Estas características são importantes quando a aplicação dos têxteis compreende estar em contacto com a pele. Assim sendo, o transporte de líquidos é um dos fatores que afeta o conforto fisiológico. Com o objetivo de se estudar o comportamento de absorção de diferentes tecidos, foram feitos testes de absorção vertical de acordo com o esquema ilustrado na figura 2.2. Wicking é o fluxo espontâneo de um líquido numa substância porosa, dirigido por forças capilares [26]. Os mecanismos de transferência de líquidos incluem a difusão de água e a absorção capilar [26].

Foram cortadas amostras de todos os tipos de têxteis usados na atividade experimental com 200 mm de comprimento e 25 mm de largura. As amostras foram suspensas verticalmente com a sua extremidade inferior mergulhada no reservatório de água destilada. Para assegurar que as extremidades inferiores das amostras ficassem verticalmente a uma profundidade de 30 mm dentro da água, foi inserido um clipe na extremidade inferior de cada amostra, como mostrado na figura 2.2.

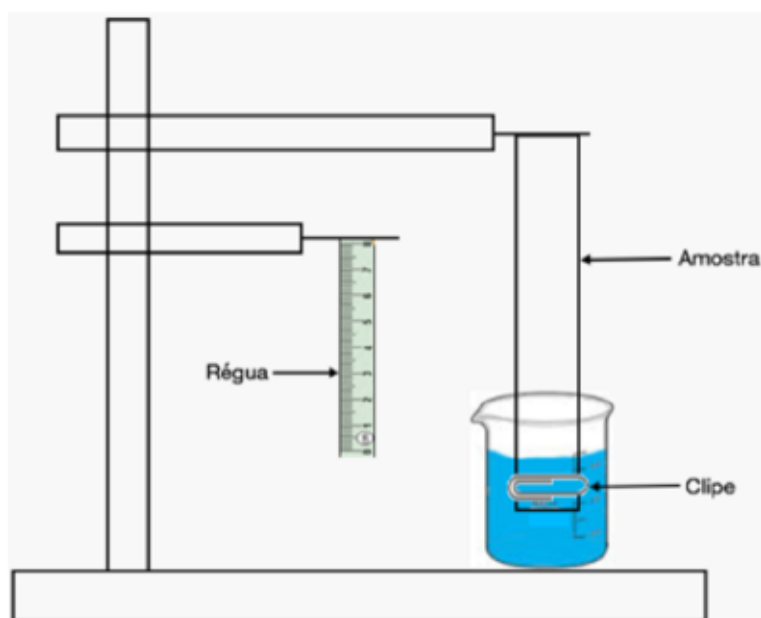


Figura 2.2 Montagem de wicking vertical.

À medida que a água era absorvida, a temperatura na amostra descia, o que provocava uma diferença de cor na câmara termográfica FLIR SYSTEMS ThermoVision™ A320. Com auxílio da régua, foram elaboradas linhas ao longo da amostra, e o software incorporado no computador registava o instante de tempo em que a água atingia essa linha, visível pela mudança de temperatura registada nessa linha. A medição é feita a cada segundo, durante 10 minutos.

## 2.5 Ângulo de contacto

Os estudos de absorção de água geralmente envolvem a medição de ângulos de contacto como medida da hidrofobicidade de materiais sólidos quando interagem com líquidos. Quanto maior o ângulo que a gota faz com a superfície, mais hidrofóbico é o substrato.

A medição dos ângulos de contacto foi realizada no equipamento Contact Angle System OCA 20, da Dataphysics Instruments, presente nas instalações do CITEVE. O equipamento consiste numa montagem horizontal que inclui uma microseringa Hamilton 500  $\mu\text{L}$  1750 TLL SANS AIG para formar uma gota de líquido, acionada por um motor para controlar a quantidade e a velocidade de adição de líquido sobre a amostra; a *high speed* câmara HS3 dataphysics é usada para emitir no computador a imagem da gota formada sobre a superfície do substrato têxtil. Para a aquisição das imagens foi utilizada uma resolução de 768×576 pixels com frequência de imagem de 90 imagens por segundo, alinhando-se a tangente do perfil da gota no ponto de contacto com a superfície de leitura.

O ângulo de contacto é uma medida quantitativa da molhabilidade de um sólido por um líquido. É definido geometricamente como o ângulo entre um plano tangente a uma gota do líquido e um plano contendo a superfície onde o líquido se encontra depositado, conforme esquematizado na figura 2.3 [27]. A equação de Young (equação 1) descreve o equilíbrio termodinâmico das três fases de contacto (sólido, líquido e gasoso) é dada como [27, 28]:

$$\gamma_{sv} = \gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta_y \quad (1)$$

onde  $\gamma_{sv}$ ,  $\gamma_{sl}$ ,  $\gamma_{lv}$  são as tensões superficiais. Muitas vezes referido como ângulo de contacto de Young  $\theta_y$ .

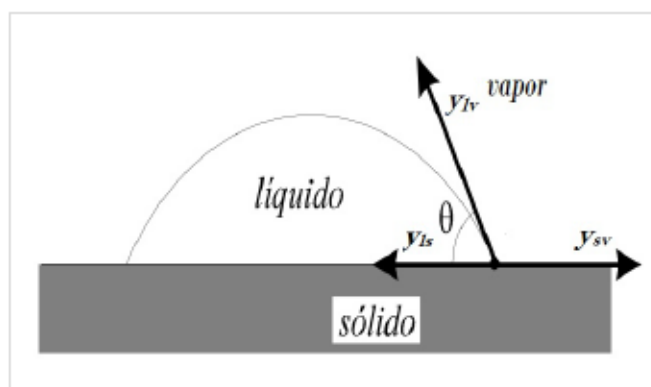


Figura 2.3 Representação das tensões superficiais numa medição de ângulo de contacto.

Na figura abaixo, podemos observar que os menores valores do ângulo de contacto indicam que o líquido se espalha na superfície, enquanto os valores de ângulo de contacto elevados mostram uma fraca difusão. Quando este se situar entre  $0^\circ < \theta < 90^\circ$ , diz-se que o líquido molha a superfície do sólido; entre  $90^\circ < \theta < 180^\circ$ , considera-se que o líquido não molha o sólido [28]. Por outro lado, quando  $\theta = 180^\circ$ , tem-se  $\cos \theta = -1$ , o trabalho de adesão líquido-sólido é zero [28]. Este é o caso limite quando não há adesão entre as duas fases (o líquido não apresenta molhabilidade) [28].

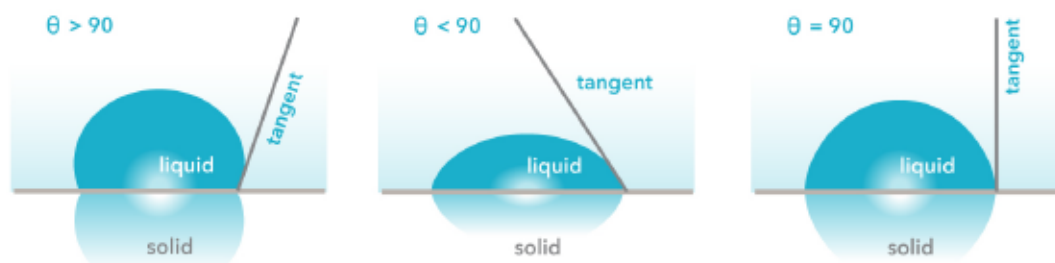


Figura 2.4 Diferentes ângulos de contacto numa superfície [28].

Para calcular a hidrofobicidade e a oleofobicidade dos têxteis, colocaram-se 3 gotas de água e óleo (3 $\mu$ L cada), e mediram-se os respectivos ângulos de contacto.

## 2.6 Detecção e quantificação de escina por espectroscopia UV/VIS

Por forma a verificar as diferenças na libertação de um fármaco dos dois tipos de estruturas (2D e 3D) procedeu-se à incorporação de escina nos têxteis e posterior análise de deteção e quantificação no espetrómetro UV/VIS.

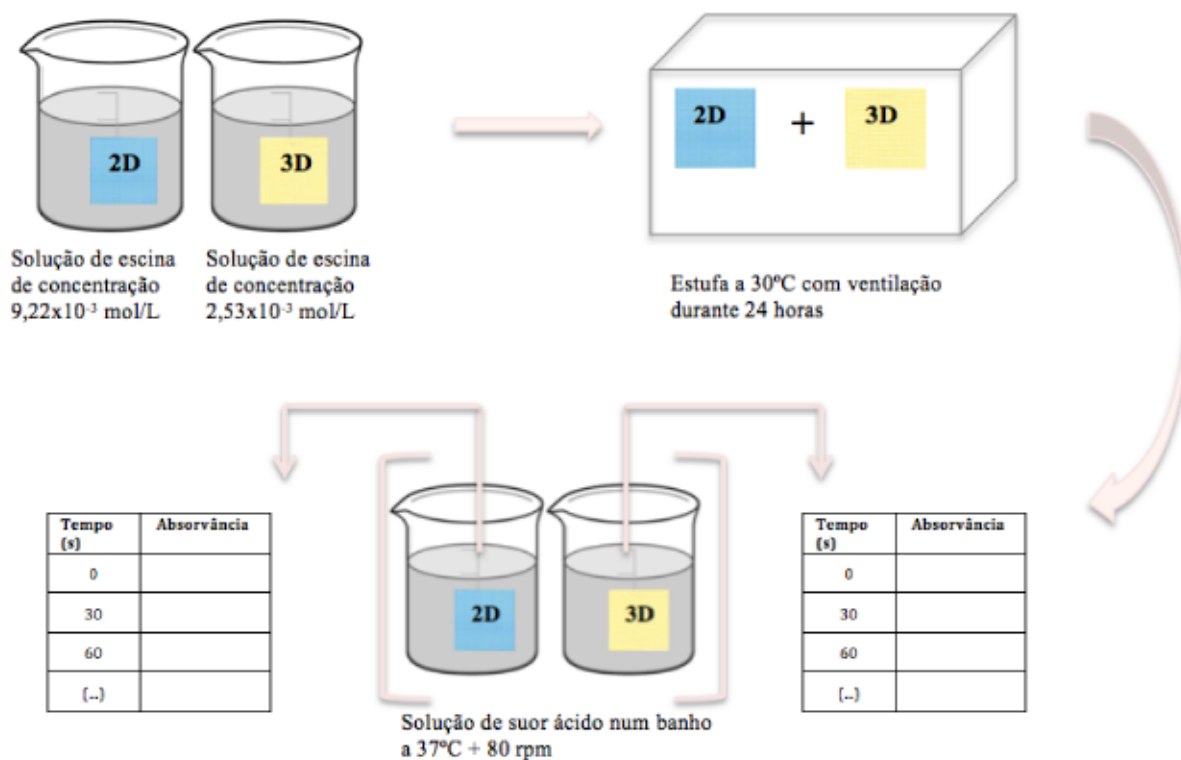
A escina é o principal constituinte do extrato seco das sementes do castanheiro da Índia, tem uma ação anti-exsudativa e de impermeabilidade dos capilares, e é um medicamento usado no tratamento sintomático de alterações funcionais das veias dos membros inferiores (insuficiência venosa crónica). No anexo II estão presentes algumas informações sobre um medicamento à base de escina, de nome comercial Varison.

Para impregnação do fármaco no têxtil 2D de algodão pesou-se 0,521g de escina e colocou-se em 50 mL de água millipore. De seguida, colocou-se o algodão nessa solução de concentração, aproximadamente,  $9,22 \times 10^{-3}$  mol/L e deixou-se repousar 1 hora. O cupro/polipropileno 3D foi colocado numa concentração que tinha como valor  $2,53 \times 10^{-3}$  mol/L, e para total impregnação esperou-se também 1 hora. Seguidamente, retiraram-se os tecidos das soluções concentradas e colocaram-se numa estufa a uma temperatura de 30°C com ventilação durante 24 horas, para a secagem das estruturas.

Para análise dos resultados da espectroscopia UV/VIS foi necessário contruir uma reta de calibração com concentrações  $10^{-5}$  M,  $4 \times 10^{-5}$  M,  $7 \times 10^{-5}$  M,  $10^{-4}$  M e  $5 \times 10^{-4}$  M (consultar apêndice II).

Finalmente, para o estudo da libertação controlada de escina colocaram-se os têxteis 2D e 3D em 300mL de uma solução simuladora de suor ácido e retiraram-se alíquotas de 3mL ao longo do tempo. Para melhorar a reprodução dos ensaios, estimular a libertação do fármaco e simular as condições de um organismo humano, as soluções de suor com os substratos têxteis foram termoestabilizadas a 37°C num banho com uma agitação de 80 rpm (rotações por minuto). Na figura 2.5 encontra-se um esquema representativo do procedimento experimental desta secção.





**Figura 2.5 Procedimento experimental da detecção e quantificação de escina.**

A solução de suor ácido foi preparada à base de mono-cloridrato de L-histidina monohidratada ( $C_6H_9O_2N_3HCl \cdot H_2O$ ), cloreto de sódio (NaCl) e di-hidrogenofosfato de sódio di-hidratado ( $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ ).

A detecção e quantificação do fármaco ao longo do tempo foi medida por absorvância no espectrofotómetro UV/VIS Lambda 35 da Perkin Elmer.



### 3 Resultados e Discussão

#### 3.1 Espetroscopia de infravermelho por transformada de Fourier com refletância total atenuada

A figura 3.1 apresenta os espectros de absorção das amostras de têxteis 3D e de algodão 2D, obtidos através da técnica FTIR-ATR. Note-se que como um dos têxteis 3D é composto por duas camadas têxteis distintas, utilizou-se esta técnica nas duas faces da amostra.

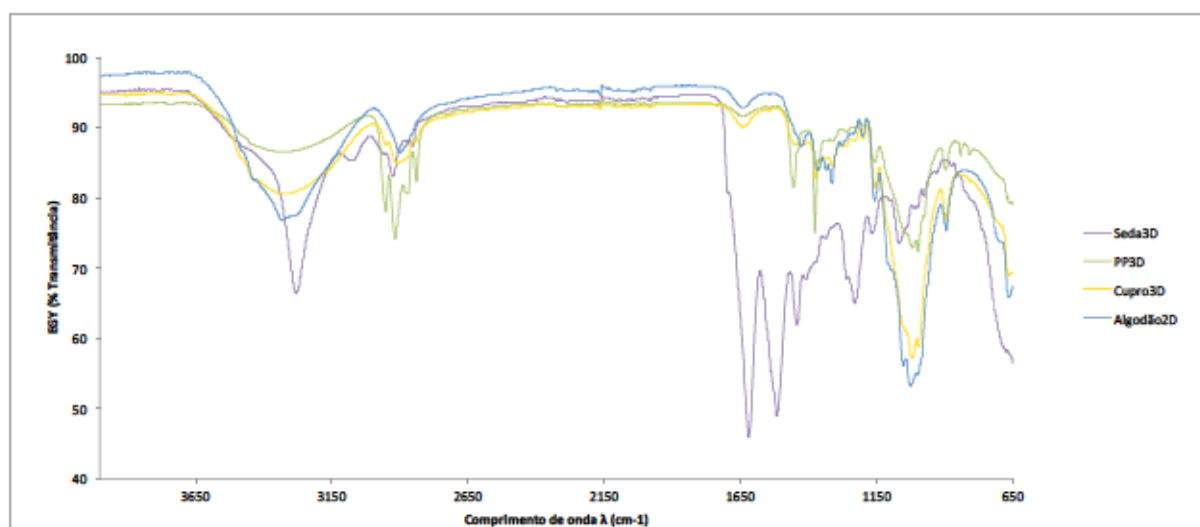


Figura 3.1 Espectros de FTIR-ATR das amostras 3D e algodão 2D no intervalo de 4000 a 650  $\text{cm}^{-1}$ .

Os espectros característicos das amostras de Algodão2D e Cupro3D são semelhantes pois ambas as amostras são constituídas pelo polímero de celulose. O espectro da celulose é definido por ter uma banda perto dos  $3355 \text{ cm}^{-1}$  devido à vibração do estiramento O-H [29]. A posição e intensidade da banda de vibração do estiramento OH varia com as diferentes formas polimórficas da celulose, por este motivo esta banda é diferente nas amostras de algodão e de cupro [29]. Intensidades diferentes são também observadas para diferentes formas perto dos  $1430 \text{ cm}^{-1}$  e  $1110 \text{ cm}^{-1}$  [29].

O espectro da amostra do PP3D é característico do polipropileno devido às bandas fortes perto dos  $2950 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1460 \text{ cm}^{-1}$  e  $1380 \text{ cm}^{-1}$  [29]. Além disso, bandas de média intensidade são observadas perto dos  $1155 \text{ cm}^{-1}$  e  $970 \text{ cm}^{-1}$  [29].

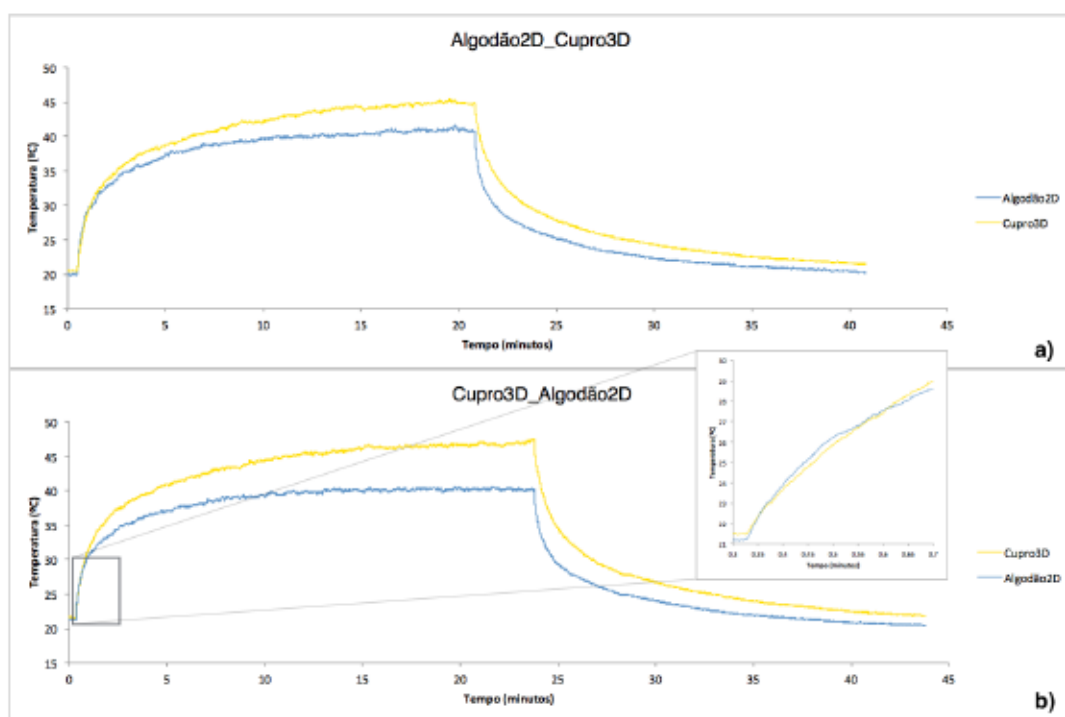
Relativamente ao espectro da seda, os grupos funcionais representativos deste tipo de têxtil são o grupo hidroxilo (estiramento OH) perto dos  $3288 \text{ cm}^{-1}$  e o metileno CH perto dos  $2932 \text{ cm}^{-1}$  [30]. O "fingerprint" da seda natural é muito característico pois apresenta duas bandas de elevada intensidade a, aproximadamente,  $1622 \text{ cm}^{-1}$  e  $1517 \text{ cm}^{-1}$  [30]. Estas bandas dizem respeito à amina secundária (banda NH) e a compostos nitro aromáticos ( $\text{X}=\text{O}$ , em que X pode ser azoto, enxofre fósforo ou silício), respetivamente [30]. Está também presente no espectro da seda o estiramento aril-

O, característico dos éteres aromáticos a aproximadamente  $1234\text{ cm}^{-1}$  e uma banda metileno CH perto dos  $1447\text{ cm}^{-1}$  [30].

### 3.2 Caracterização térmica

#### *Por aquecimento infravermelho*

Para se realizar a caracterização térmica dos materiais 3D foram feitas cinco comparações, entre elas: algodão com cupro; polipropileno com algodão; seda com algodão; cupro com seda; e seda com polipropileno. Como as lâmpadas podem apresentar intensidades diferentes, e distâncias não exatas entre elas e as amostras têxteis, foram também recolhidos dados trocando os lugares das amostras, minimizando assim o erro adjacente à montagem. As seguintes figuras mostram os gráficos representativos de todas as comparações efetuadas.

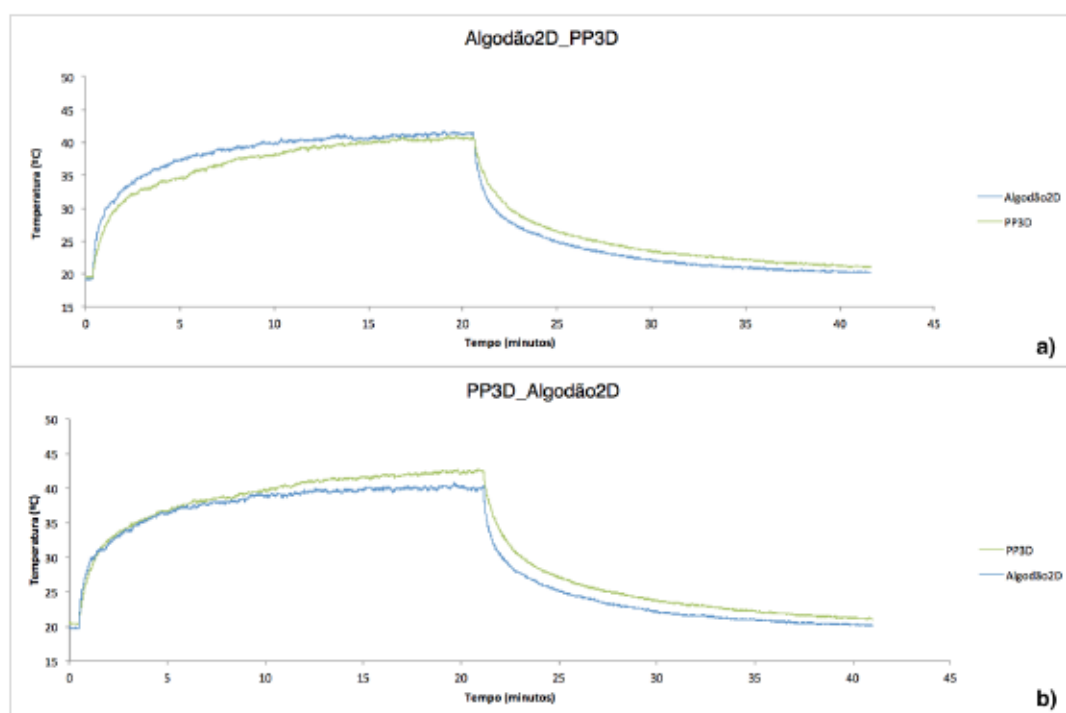


**Figura 3.2 Comparação entre o têxtil 2D de algodão com a face de cupro do têxtil 3D de cupro/PP.**

Na figura 3.2 encontram-se os resultados provenientes da comparação entre o algodão 2D e cupro 3D durante o seu aquecimento e arrefecimento nas duas posições. Vendo o detalhe dos instantes iniciais da figura 3.2b) pode observar-se que o algodão aquece mais rapidamente que o cupro nos primeiros instantes, mas depois é o têxtil 3D que se mantém a temperaturas mais elevadas durante todo o período de exposição à radiação. Quando se desligam as lâmpadas, nos instantes próximos de 21 (figura 3.2a)) e 24 minutos (figura 3.2b)), o algodão arrefece mais rápido até ambas as estruturas voltarem à temperatura ambiente.

Através da análise comparativa entre o polipropileno e o algodão (figura 3.3), no período de exposição à radiação, verifica-se que as temperaturas máximas atingidas são praticamente as mesmas, no entanto a taxa de arrefecimento apresenta-se um pouco inferior no PP3D que no algodão 2D. O comportamento térmico destes dois tecidos, no que diz respeito às temperaturas máximas, é semelhante, o que poderá estar associado às características térmicas próprias dos tecidos e não com o tipo de estrutura (2D e 3D) que as compõem.

A diferença de temperatura no período de aquecimento entre os ensaios a) e b) pode estar associada ao erro inerente das lâmpadas infra-vermelhas, demonstrando assim a importância da realização do ensaio das amostras em diferentes posições.



**Figura 3.3 Comparação entre o algodão 2D e o polipropileno 3D.**

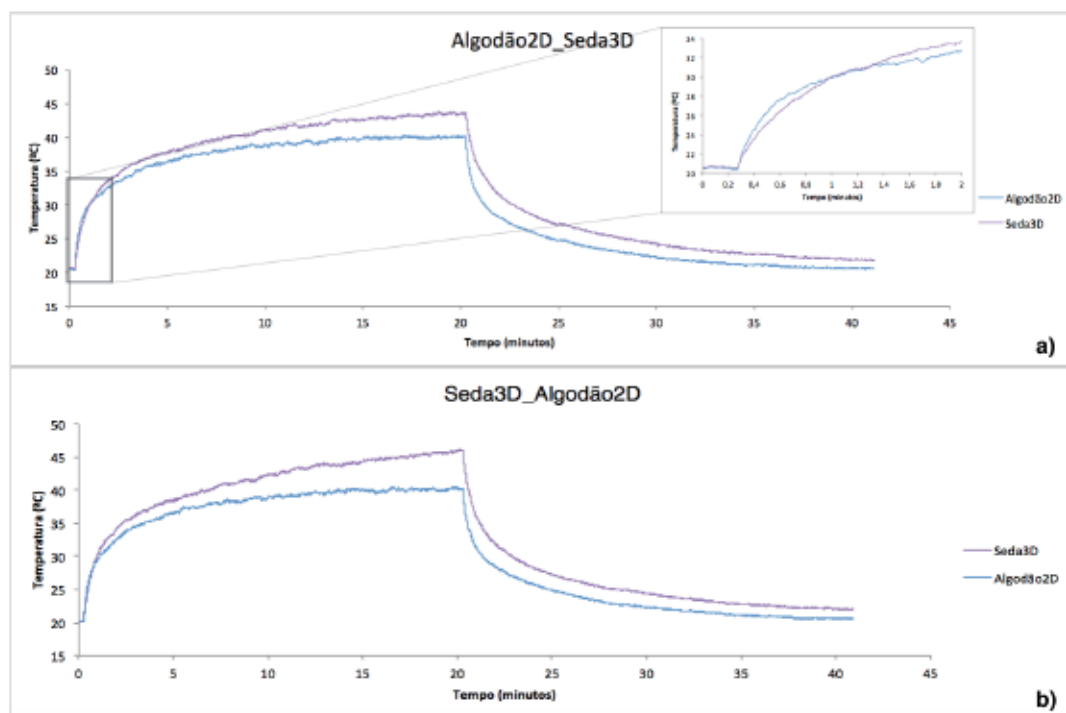
Ao efetuar a comparação entre ensaios, analisando as figuras 3.2 e 3.3, verifica-se que embora menos significativo no polipropileno, os têxteis 3D apresentam um ligeiro aquecimento e posterior arrefecimento mais lento que a estrutura 2D de algodão.

O tecido composto por PP e o algodão têm um comportamento semelhante entre eles mas diferente quando comparados ao do cupro. O cupro atinge temperaturas mais elevadas do que o algodão e o polipropileno quando expostos ao mesmo tempo de exposição à radiação.

A comparação do comportamento entre o algodão e a seda (figura 3.4) é bastante análoga à comparação entre o algodão e o cupro, tanto no período de exposição à radiação como no período de não exposição, ou seja, aquecimento e arrefecimento das amostras, respetivamente. Nos primeiros instantes o algodão é mais rápido a aquecer (detalhe dos instantes iniciais da figura 3.4a)) mas ao longo do tempo é a seda que atinge temperaturas mais elevadas (figura 3.4). Quando se desligam as lâmpadas, nos instantes próximos de 21 minutos, o algodão arrefece mais rápido até ambas as

estruturas voltarem à temperatura ambiente.

Destes ensaios conclui-se que a estrutura 2D de algodão aquece e arrefece mais rapidamente que qualquer uma das estruturas 3D. Na figura 3.3 esta característica não está tão evidenciada, pois a temperatura atingida pelo PP é mais baixa que os outros têxteis 3D. Relativamente às temperaturas atingidas durante o tempo de exposição à radiação IV, o cupro e seda atingem temperaturas mais elevadas, e o polipropileno 3D demonstra um comportamento semelhante à estrutura 2D de algodão, com temperaturas mais baixas.

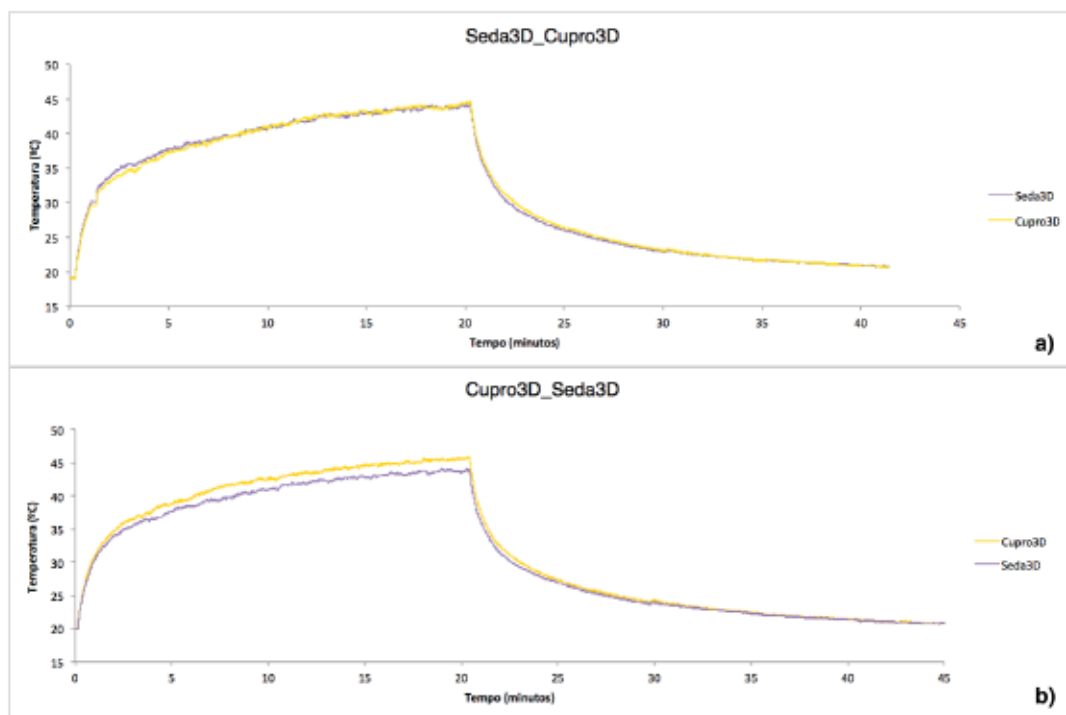


**Figura 3.4 Comparação entre o algodão 2D com a seda 3D.**

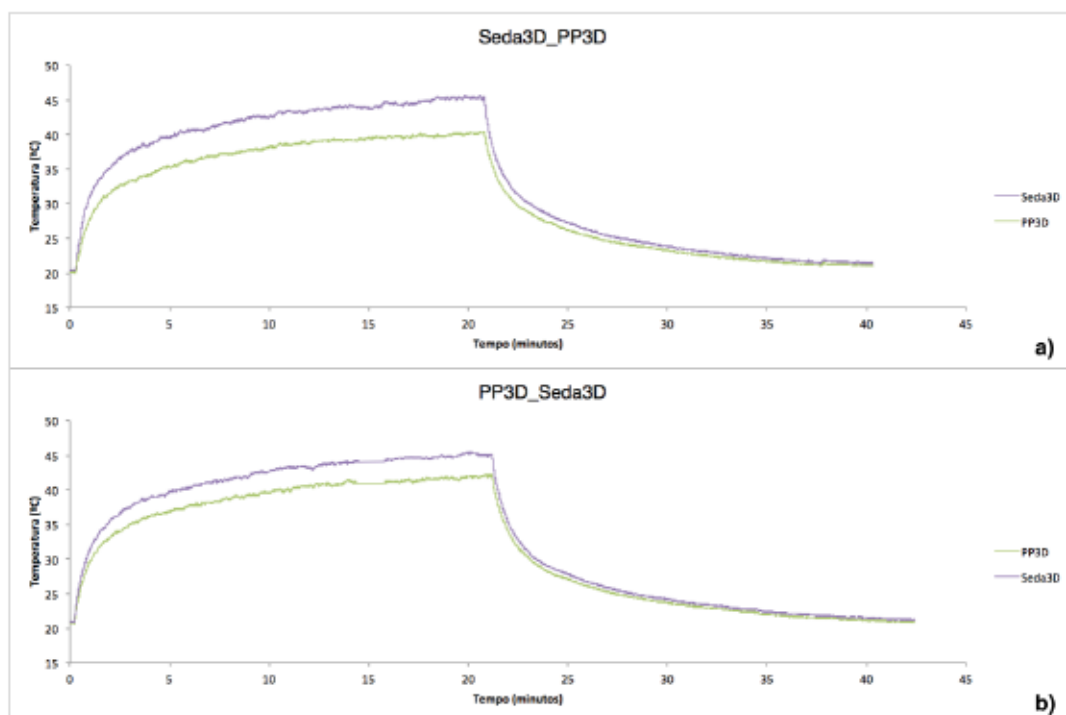
Depois de se comparar as estruturas 3D com a estrutura 2D de algodão, e com o objetivo de saber qual a estrutura que melhor se adequa a este estudo, foram também comparados todos os diferentes materiais que estão incluídos em malhas 3D entre si.

Comparando a seda e o cupro, verificou-se que têm um comportamento térmico muito semelhante, o que pode ser observado na figura 3.5.

Relativamente à figura 3.6, as taxas de aquecimento e arrefecimento não parecem apresentar diferenças significativas, no entanto, e como esperado, as temperaturas atingidas pelo polipropileno são bastante inferiores que as temperaturas atingidas pela seda 3D.



**Figura 3.5 Comparação entre a seda 3D e o cupro 3D.**



**Figura 3.6 Comparação entre a seda 3D e o polipropileno 3D.**

A tabela 3.1 apresenta imagens da câmara termográfica das diferentes comparações entre amostras a aproximadamente 3, 10, 20, 30 e 40 minutos. As imagens apresentam-se de acordo com a escala de temperatura que lhe está adjacente (16,6 °C corresponde ao preto e 50,0 °C ao branco). À medida que a temperatura vai aumentando, as imagens da câmara adquirem cores mais claras. De

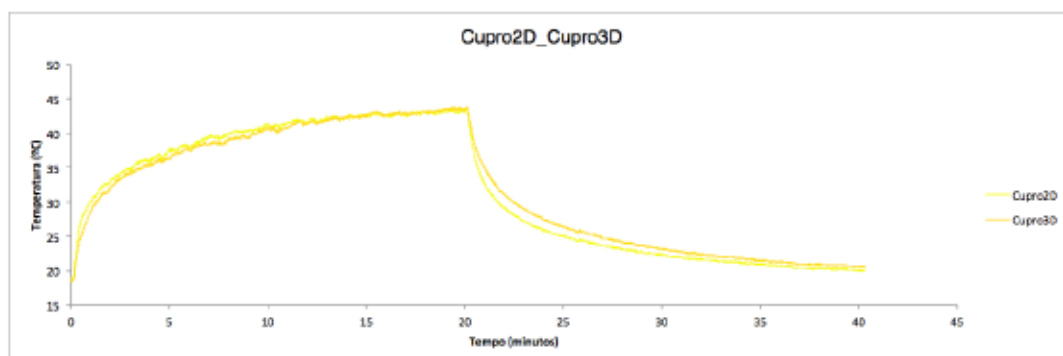


notar que até aos 20 minutos as lâmpadas IV estavam ligadas (aquecimento) e a partir daqui as lâmpadas foram desligadas e dando-se início ao arrefecimento. Por este motivo, as imagens aos 20 minutos apresentam-se mais claras que nos restantes tempos. Ainda assim, é perceptível observar que as amostras de cupro e seda apresentam temperaturas mais elevadas que o algodão e o polipropileno estando submetidas a aproximadamente o mesmo tempo de exposição à radiação. As últimas imagens de cada ensaio, aproximadamente aos 40 minutos, depois de 20 minutos de arrefecimento, indicam que as amostras encontram-se a uma temperatura próxima da temperatura ambiente (19 °C).

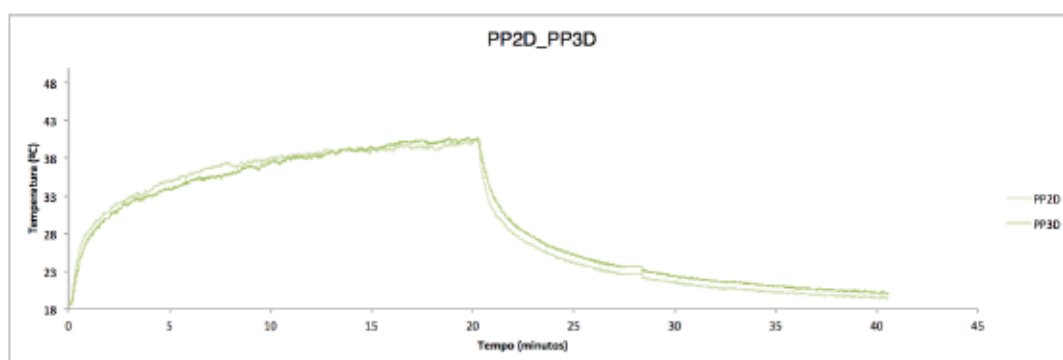
Tabela 3.1 Imagens da câmara termográfica das comparações entre amostras ao longo do tempo.

Amostra	Tempo (minutos)				
	3	10	20	30	40
Algodão2D/Cupro3D					
PP3D/Algodão2D					
Seda3D/Algodão2D					
Seda3D/Cupro3D					
Seda3D/PP3D					

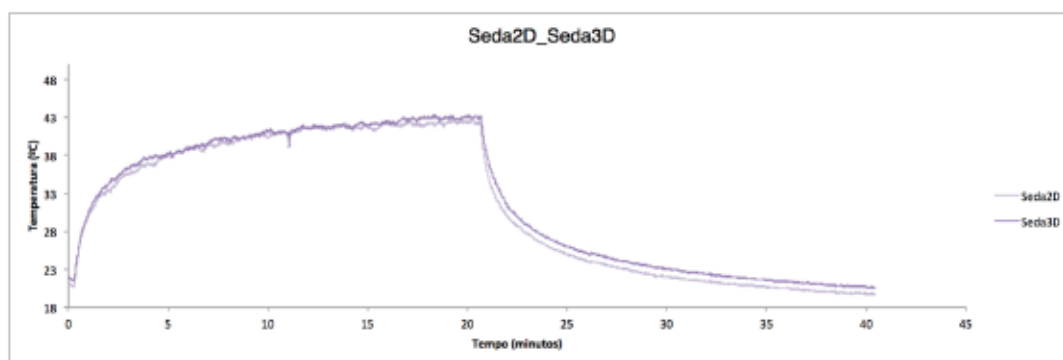
Para uma melhor compreensão das diferenças térmicas entre uma estrutura 3D e uma estrutura 2D, e avaliar a influência da diferença do tipo de estrutura na temperatura à superfície da amostra efetuaram-se as seguintes comparações: cupro 2D com cupro 3D; polipropileno 2D com polipropileno 3D; e seda 2D com seda 3D. Os gráficos abaixo apresentam os perfis de temperatura das comparações efetuadas.



**Figura 3.7 Comparação entre o cupro 2D e o cupro 3D.**



**Figura 3.8 Comparação entre o polipropileno 2D e o polipropileno 3D.**



**Figura 3.9 Comparação entre a seda 2D e a seda 3D.**

Através da análise das figuras 3.7, 3.8 e 3.9, pode-se concluir que a diferença entre ter uma estrutura 2D e uma estrutura 3D do mesmo tipo de têxtil pouco influencia no desempenho térmico do material na face que está exposta à radiação. No entanto, no arrefecimento, as estruturas 3D arrefecem mais lentamente, o que constitui um isolamento térmico superior às estruturas 2D e, por

isso, um comportamento mais desejável para utilizadores com pouca ou nenhuma atividade física (baixa produção de calor pelo organismo). Algumas diferenças entre as curvas de cada gráfico podem estar associadas ao erro associado à diferença das lâmpadas infra-vermelhas.

Uma vez que não se conseguiu separar devidamente ambos os tecidos que constituíam as estruturas 3D, havendo resquícios de fio de polipropileno nas estruturas 2D, fez com que as diferenças dos gráficos das três últimas figuras não fossem tão evidentes. Ou seja, as diferenças entre as estruturas 2D e 3D poderiam ser mais perceptíveis se as estruturas 2D estivessem nas condições apropriadas.

Na tabela 3.2 encontram-se as temperaturas atingidas pelo tecido após 20 minutos de exposição à radiação (aquecimento) e passados 20 minutos depois de se desligaram as lâmpadas infravermelhas (arrefecimento).

**Tabela 3.2 Dados mais relevantes dos têxteis caracterizados por aquecimento infravermelho.**

Tipo de têxtil	Tipo de estrutura	Após 20 minutos de aquecimento IV	Após 20 minutos de arrefecimento
		Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
Algodão	2D	36,157	19,459
Seda	2D	42,789	19,624
	3D	42,984	20,543
Polipropileno	2D	40,480	19,556
	3D	40,688	20,209
Cupro	2D	43,568	20,100
	3D	43,435	20,918

Através da análise da tabela 3.2, e para uma melhor compreensão do comportamento dos tecidos usados nos têxteis 3D e 2D de algodão, pode-se referir que as temperaturas atingidas pelo tecido não têm a ver com o tipo de estrutura em que estão incluídas (2D e 3D) mas sim com o tipo de malha que as compõem. As diferenças entre estruturas apenas são verificadas nos gráficos em que as taxas de aquecimento/arrefecimento são levemente díspares, sendo as estruturas 3D mais isolantes termicamente.

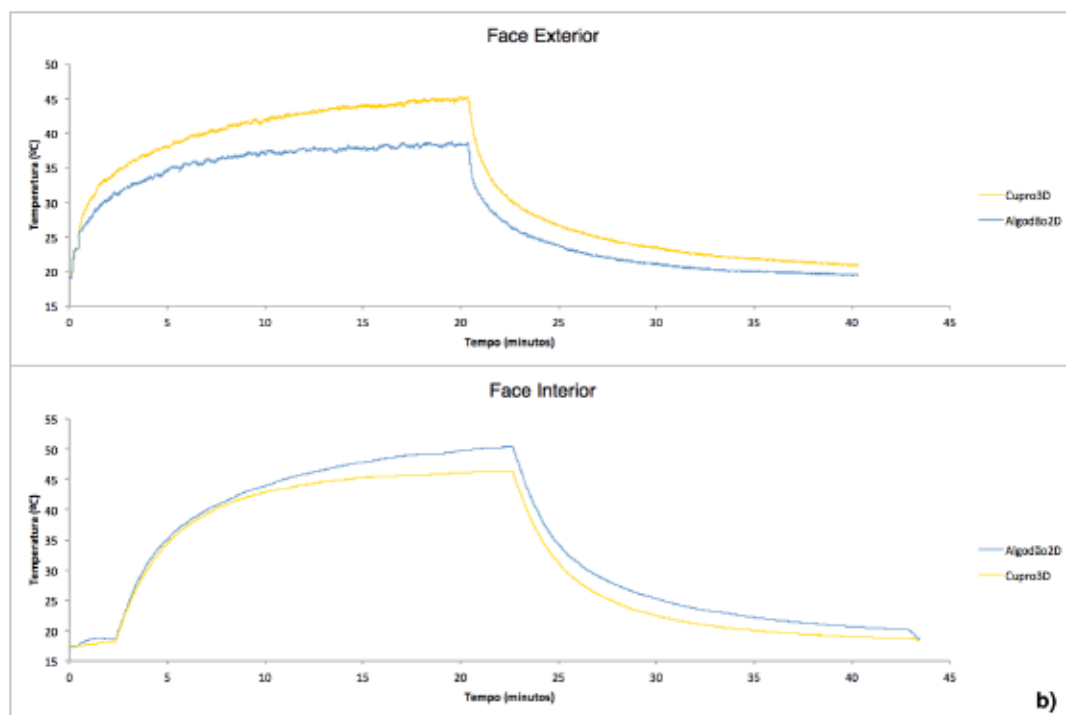
Para além das estruturas analisadas anteriormente, foram testadas mais quatro amostras 2D de poliéster e comparou-se com o algodão 2D, com o objetivo de saber se alguma destas estruturas se apresentava mais vantajosa termicamente. Na caracterização térmica por aquecimento infravermelho com termopares, encontram-se os resultados de todos os têxteis usados na atividade experimental na face exterior e inferior dos tecidos.

#### *Por aquecimento infravermelho com termopares*

Para a compreensão do comportamento térmico dos materiais 3D na face interior, foram efetuadas as seguintes comparações: cupro 3D com o algodão 2D; polipropileno 3D com o algodão 2D; seda 3D com algodão 2D; cupro 3D com seda 3D; e polipropileno 3D com seda 3D.



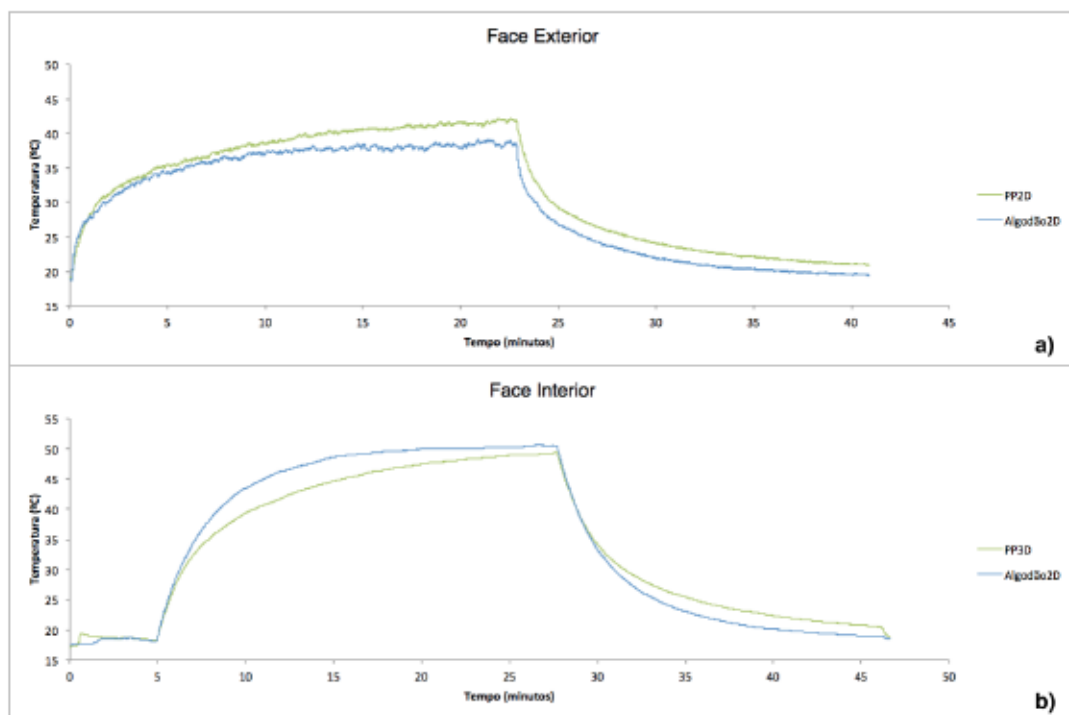
Na figura 3.10 está representado o gráfico relativo à comparação entre o material 3D de cupro/polipropileno e o material 2D de algodão. Na face exterior (figura 3.10a)), que corresponde à análise obtida pela câmara termográfica, encontra-se o cupro, e na face interior (figura 3.10b)) o polipropileno, onde a análise das temperaturas é efetuada por termopares.



**Figura 3.10 Comparação entre o cupro 3D e o algodão 2D na face exterior e na face interior.**

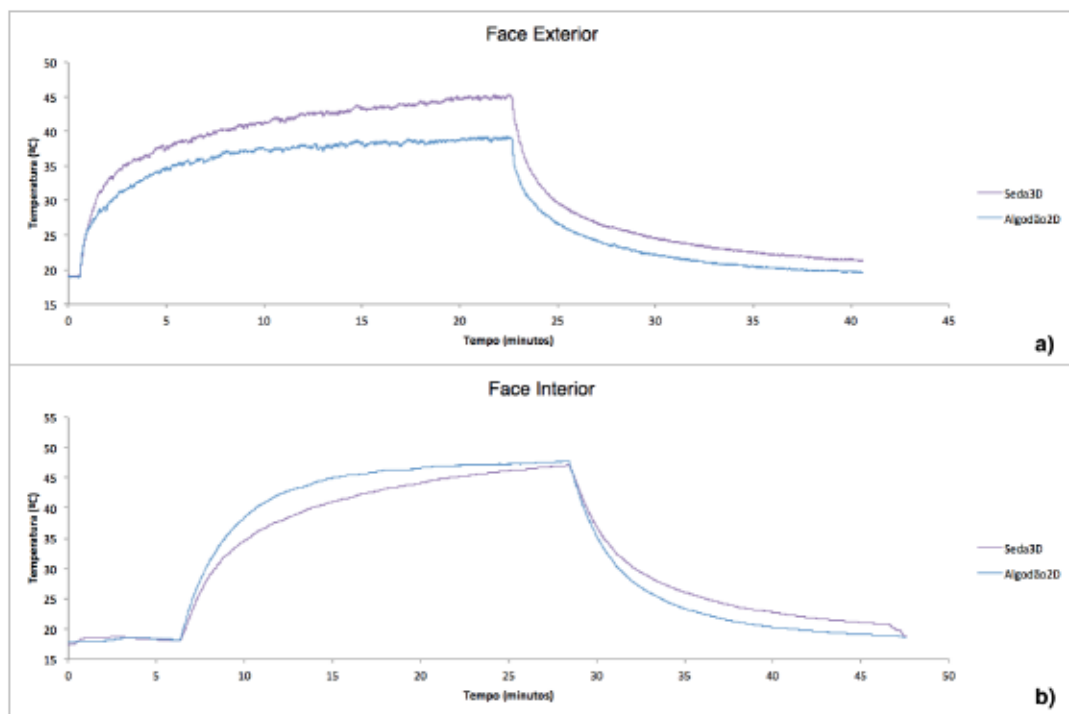
Na face exterior (figura 3.10a)), o cupro 3D atinge temperaturas mais elevadas que o algodão 2D, mas tal não se verifica quando se analisa a face interior (figura 3.10b)). A análise na face exterior, é uma análise efetuada apenas na superfície da amostra, que neste caso é uma análise térmica feita ao cupro. Na face interior, são os termopares que efetuam a medição térmica dos materiais, neste caso os termopares vão estar a medir o calor que está presente junto ao polipropileno, calor esse que é fornecido pela radiação proveniente das lâmpadas IV e que atravessa a amostra 3D. Como a amostra 3D é constituída por uma camada de cupro e outra de polipropileno ligadas por um monofilamento de polipropileno, as temperaturas registadas pelo termopar correspondem ao calor que atravessa todos estes materiais. De notar que na face exterior a análise é feita apenas ao material à superfície (neste caso, o cupro), e na face interior, o calor atravessa o cupro, o fio de polipropileno e ar e por fim a camada de polipropileno.

Como já foi referido, na caracterização térmica sem termopares, o polipropileno é o material que mais se assemelha ao algodão, quando são avaliados os comportamentos térmicos dos materiais (figura 3.11a)). Na face exterior é o polipropileno que apresenta temperaturas mais elevadas durante a análise, já na face interior acontece o oposto (figura 3.11b)).



**Figura 3.11 Comparação entre o polipropileno 3D com o algodão 2D na face exterior e na face interior.**

Na figura 3.12 estão os gráficos relativos à comparação entre a seda 3D e o algodão 2D nas mesmas condições.

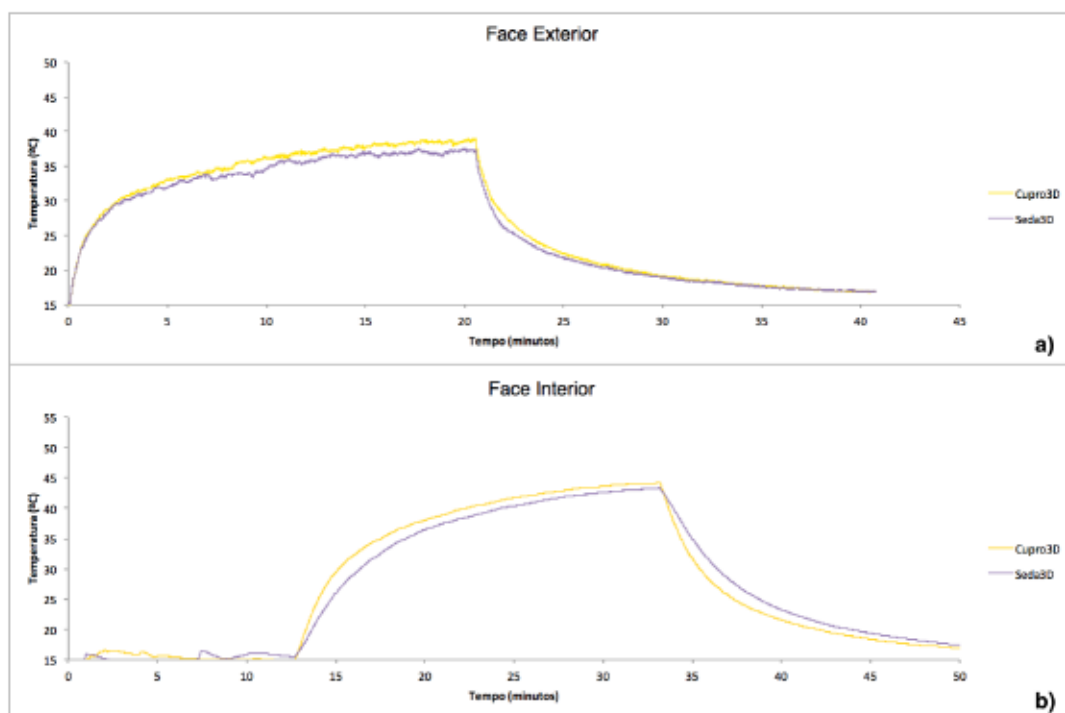


**Figura 3.12 Comparação entre a seda 3D e o algodão 2D na face exterior e na face interior.**

Relativamente à comparação de seda 3D e algodão 2D, pode-se afirmar que a seda 3D atinge temperaturas superiores ao algodão 2D à superfície, mas temperaturas inferiores ao mesmo na face interior.

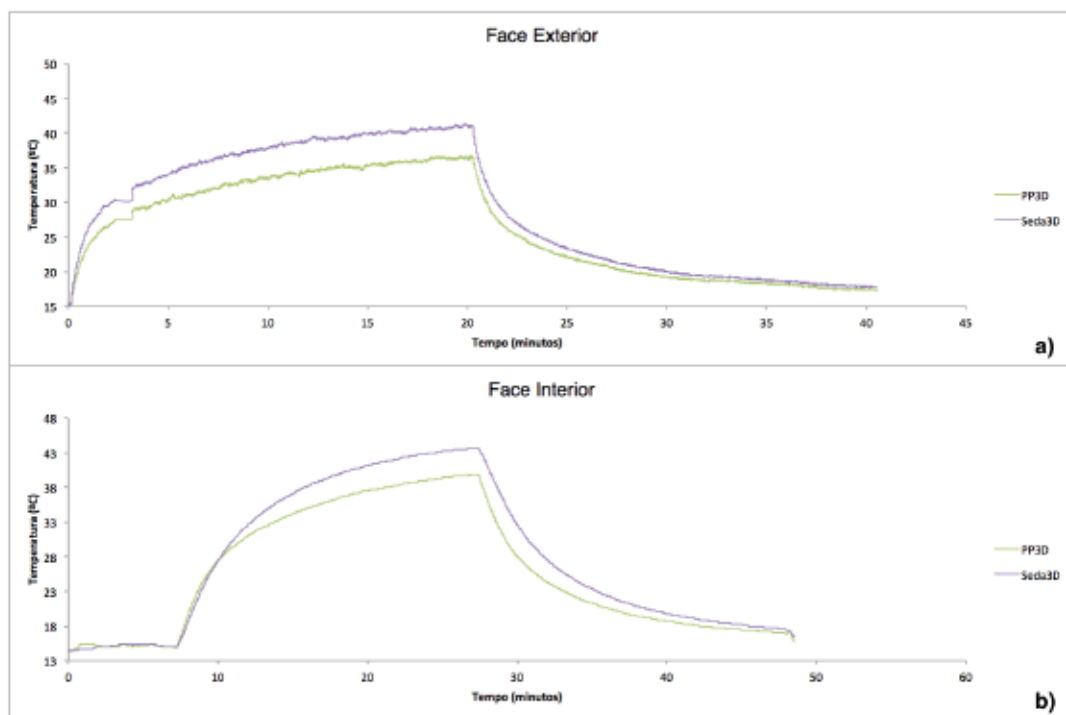
Pode-se observar através das figuras 3.10b), 3.11b) e 3.12b) que qualquer uma das estruturas 3D toma valores inferiores ao algodão 2D e apresenta um aquecimento/arrefecimento mais lento, por conseguinte são consideradas mais adequadas que o algodão 2D. Este facto parece estar relacionado com o tipo de estruturas das malhas (2D e 3D).

A seda 3D e o cupro 3D têm comportamentos semelhantes tanto na face interior (figura 3.13b)) como na face exterior (figura 3.13a)).



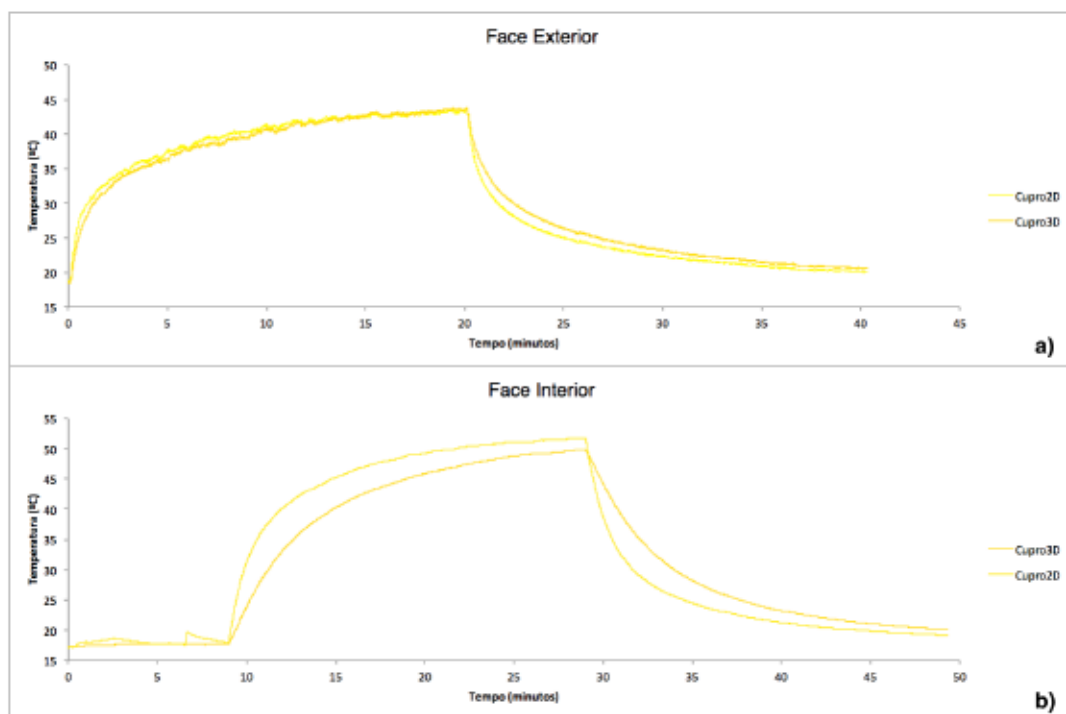
**Figura 3.13 Comparação entre o cupro 3D e a seda 3D na face exterior e na face interior.**

Com a análise da figura 3.13b), pode-se concluir que quando a malha 3D se encontra com o polipropileno voltado para cima (radiação IV a incidir sobre o polipropileno) e através da leitura das temperaturas dos termopares, este obtém temperaturas mais baixas que a seda 3D.



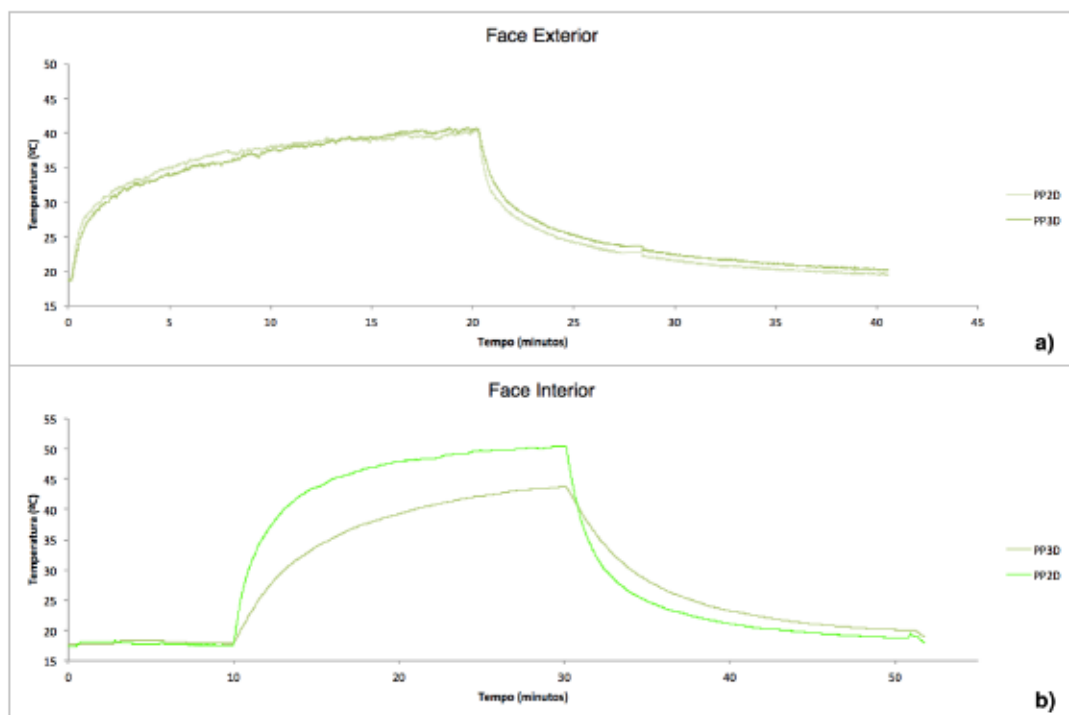
**Figura 3.14** Comparação entre o polipropileno 3D e a seda 3D na face exterior e na face interior.

Com o objetivo de saber se as diferenças junto aos termopares estão relacionadas com a diferença da estrutura (2D ou 3D) ou se está relacionada com o tipo de tecido que as compõem, foram efetuadas as seguintes comparações: cupro 2D com cupro 3D; polipropileno 2D com polipropileno 3D; e seda 2D com seda 3D. As figuras abaixo ilustradas dizem respeito a estas comparações.

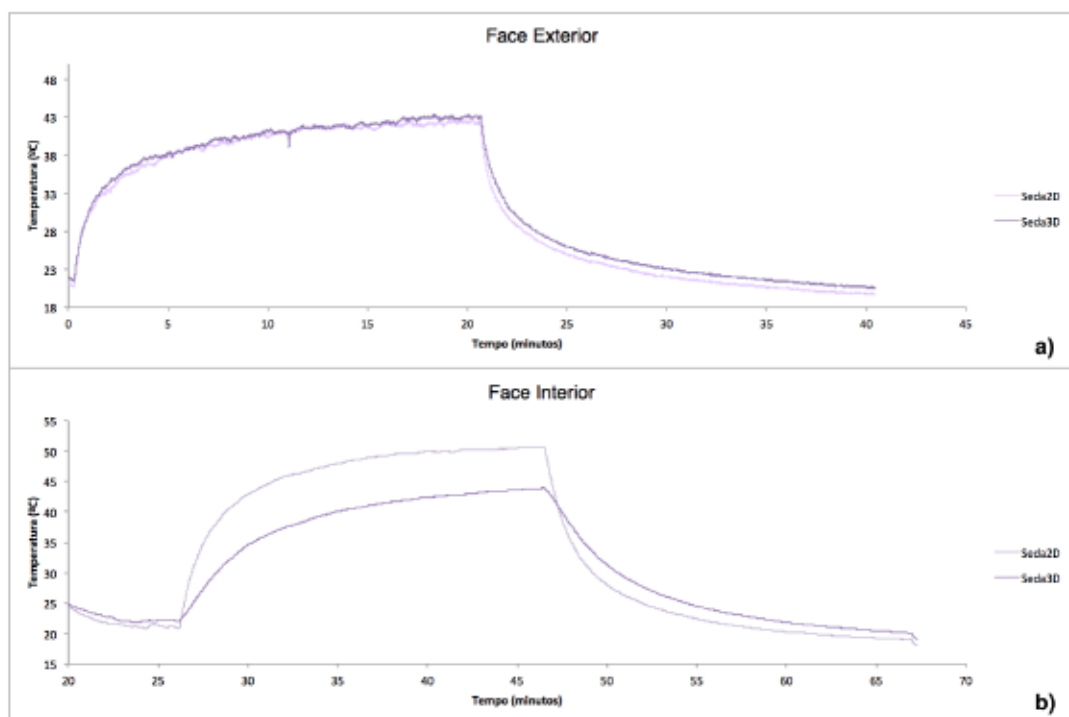


**Figura 3.15** Comparação entre o cupro 2D o cupro 3D na face exterior e na face interior.





**Figura 3.16** Comparação entre o polipropileno 2D e o polipropileno 3D na face exterior e na face interior.



**Figura 3.17** Comparação entre a seda 2D e a seda 3D na face exterior e na face interior.

O perfil de temperatura do cupro 2D difere da malha 3D de cupro/polipropileno na figura 3.15b), enquanto na face exterior não aparecem diferenças significativas (figura 3.15a)). As diferenças observadas na face interior podem ser explicadas essencialmente uma razão: devido à

existência de uma camada de ar nas estruturas 3D que funciona como isolante, resultante numa transferência de calor inferior para a face interior.

Relativamente à comparação entre o polipropileno 2D e a estrutura 3D de polipropileno/cupro (figura 3.16), pode-se referir que as curvas de aquecimento e arrefecimento da estrutura 3D apresentam-se mais lineares que as 2D, o que demonstra um maior isolamento térmico, e por isso, mais adequada à aplicação desejada. A possível razão para as diferenças das curvas na figura 3.16b), são as mesmas referidas anteriormente relativamente à figura 3.15b).

Como se pode observar, nos gráficos relativos às faces interiores, as curvas têm diferenças significativas. Deste modo, o tipo de estrutura interfere na caracterização térmica dos materiais. Na figura 3.17, onde é utilizado o mesmo tipo de têxtil, as curvas correspondentes à seda 2D e à seda 3D são distintas, o que melhor evidencia esta situação, já que é usado o mesmo tecido.

Através das comparações efetuadas (figura 3.15.b), 3.16b) e 3.17b)) pode referir-se que qualquer uma das estruturas 3D se apresenta mais vantajosa que as estruturas 2D testadas (algodão, seda, cupro e polipropileno). Através destas conclusões os tecidos 3D apresentam um maior isolamento térmico, sendo mais adequados para utilização em ambientes frios ou para utilizadores com baixa produção de calor. Os acamados ou os idosos são os grupos de pessoas que apresentam nenhuma ou pouca mobilidade, sendo mais confortável o uso dos têxteis tridimensionais.

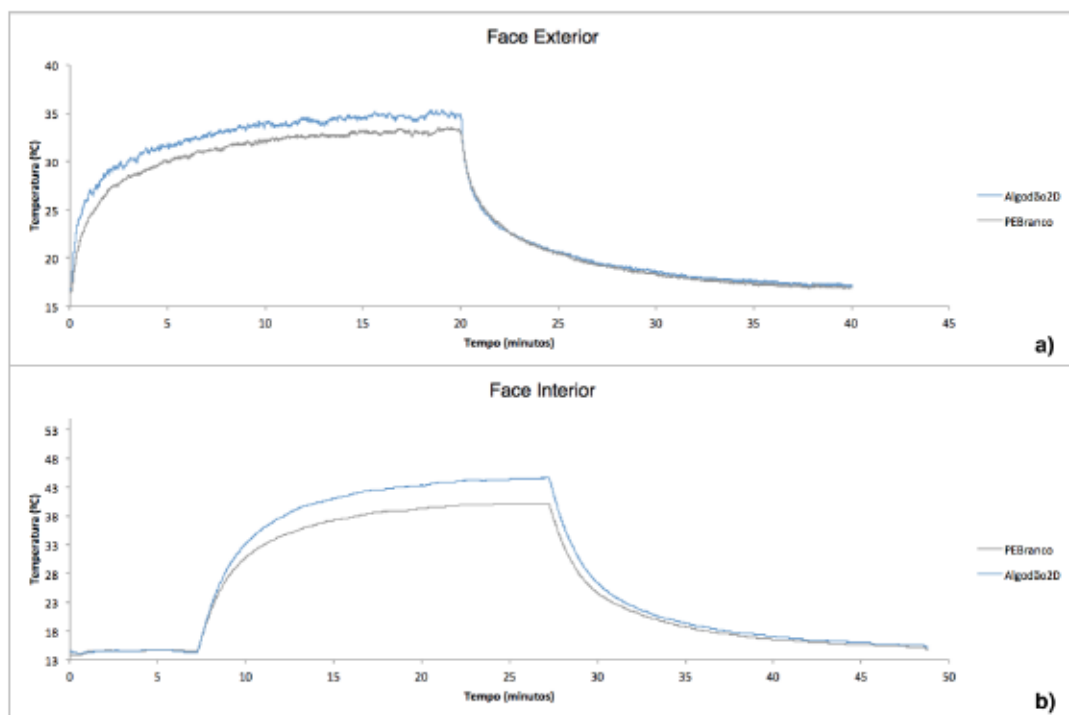
Na tabela 3.3 são evidenciados dados numéricos relativos ao comportamento dos têxteis 2D e 3D após 20 minutos de exposição à radiação IV e após 20 minutos de arrefecimento, na face exterior e na face interior.

**Tabela 3.3 Dados mais relevantes dos têxteis no aquecimento infravermelho com termopares.**

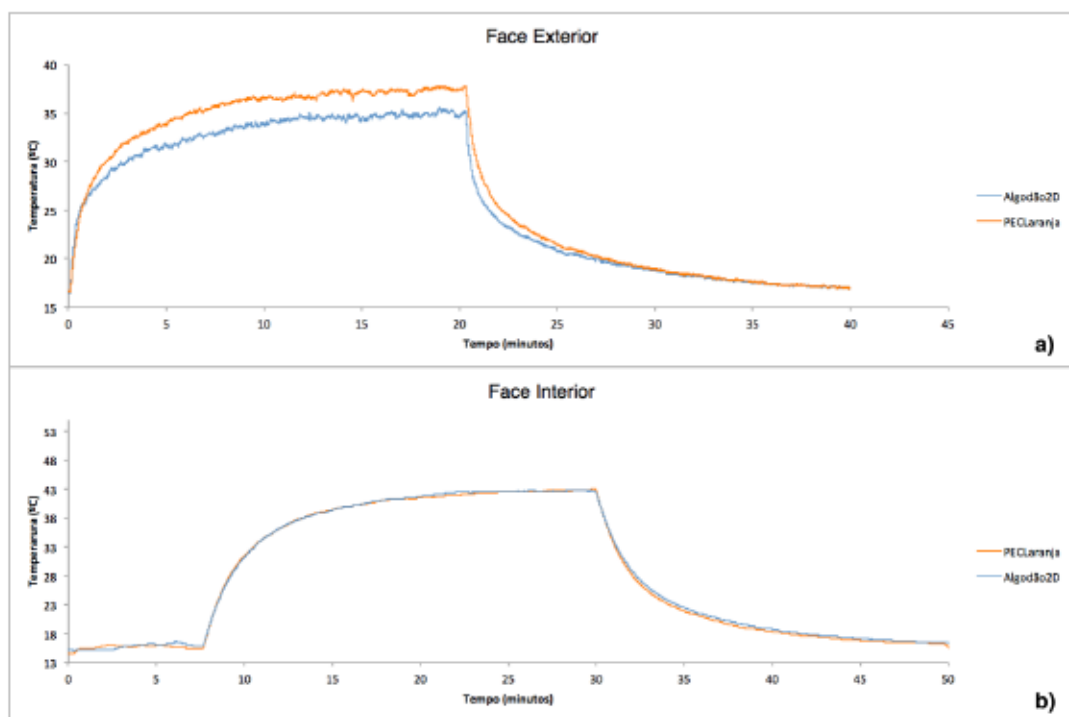
Tipo de têxtil	Tipo de estrutura	Face exterior		Face interior	
		Temperatura após 20 minutos de aquecimento (°C)	Temperatura após 20 minutos de arrefecimento (°C)	Temperatura após 20 minutos de aquecimento (°C)	Temperatura após 20 minutos de arrefecimento (°C)
Algodão	2D	36,157	19,459	50,400	20,200
Seda	2D	42,789	19,624	49,300	19,100
	3D	42,984	20,543	43,800	20,300
PP	2D	40,480	19,556	50,400	18,800
	3D	40,688	20,209	43,700	20,100
Cupro	2D	43,568	20,100	51,700	19,200
	3D	43,435	20,918	49,900	20,200

É possível aferir através da análise da tabela 3.3, que são os têxteis 3D que apresentam temperaturas inferiores no período de aquecimento e temperaturas superiores no período de arrefecimento, nos dados relativos à face interior. Estes resultados vão de encontro ao que já foi dito anteriormente, que os têxteis 3D apresentam características de materiais mais isolantes termicamente que os têxteis 2D.

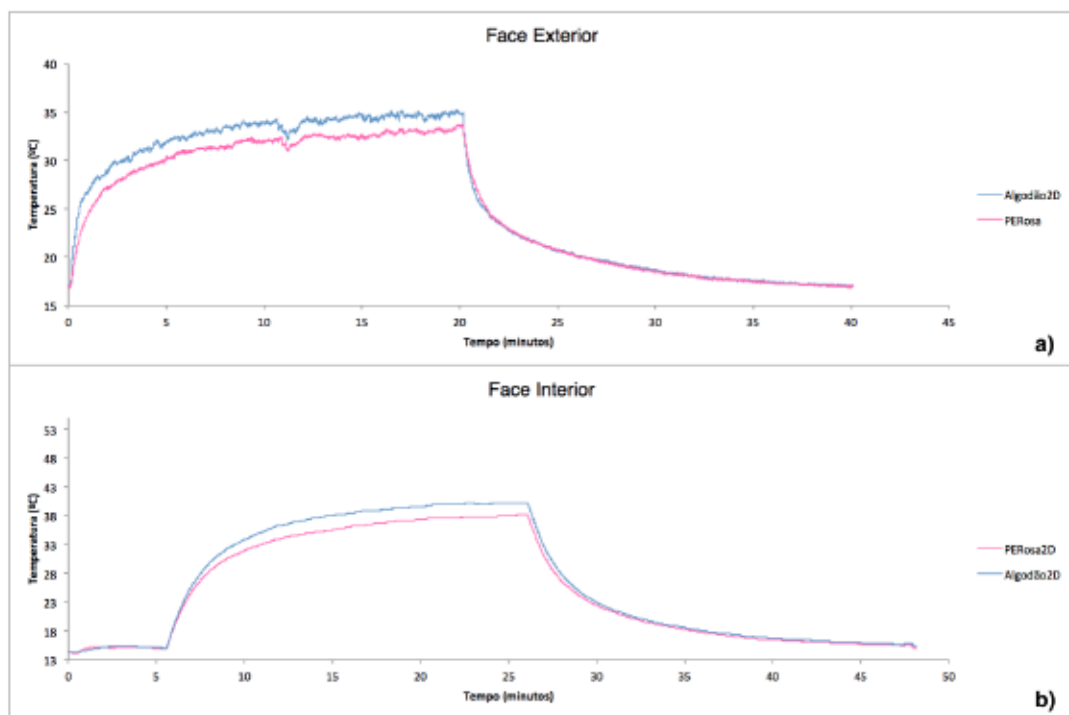
As estruturas 2D compostas maioritariamente por poliéster foram também testadas e os resultados são os seguintes:



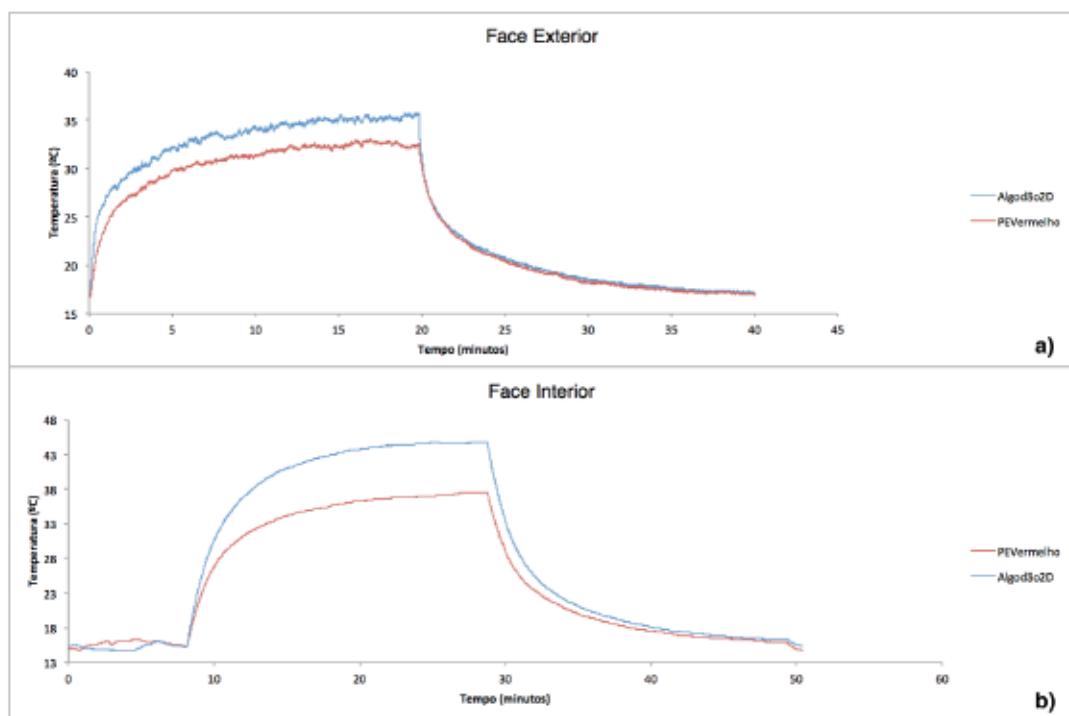
**Figura 3.18** Comparação entre o poliéster branco 2D e o algodão 2D na face exterior e na face interior.



**Figura 3.19** Comparação entre o poliéster coolmax laranja 2D e o algodão 2D na face interior e na face exterior.



**Figura 3.20** Comparação entre o poliéster rosa 2D e o algodão 2D na face exterior e na face interior.



**Figura 3.21** Comparação entre o poliéster vermelho 2D e o algodão 2D na face exterior e na face interior.

Na tabela 3.4 são apresentadas os dados mais relevantes retirados dos gráficos das figuras 3.18, 3.19, 3.20 e 3.21.



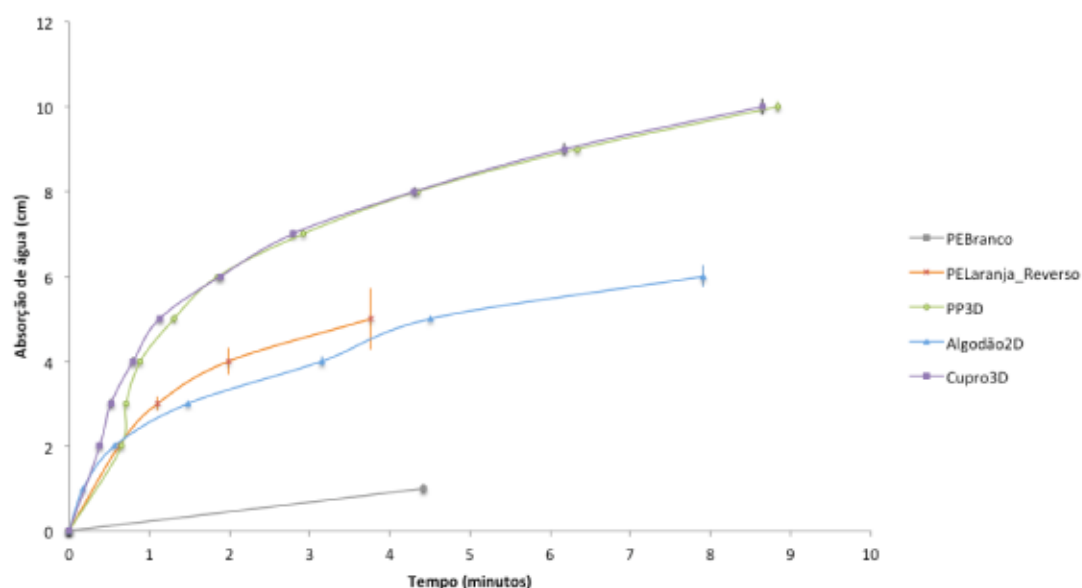
**Tabela 3.4** Dados mais relevantes das amostras têxteis de poliéster no aquecimento infravermelhos com termopares.

Tipo de têxtil	Tipo de estrutura	Face exterior		Face interior	
		Temperatura após 20 minutos de aquecimento (°C)	Temperatura após 20 minutos de arrefecimento (°C)	Temperatura após 20 minutos de aquecimento (°C)	Temperatura após 20 minutos de arrefecimento (°C)
Algodão	2D	34,873	17,127	44,700	15,800
PEBranco	2D	34,900	17,124	40,200	15,400
PECLaranja	2D	37,526	16,917	42,800	16,300
PERosa	2D	33,496	17,058	38,100	15,500
PEVermelho	2D	32,551	17,083	37,500	16,000

Na face exterior, o comportamento dos poliésteres testados mostrou-se mais semelhante à amostra de algodão relativamente à maioria dos têxteis 3D testados anteriormente. Na face interior, são notáveis algumas diferenças entre as estruturas. Este facto está relacionado com as diferentes composições dos tecidos. As temperaturas apresentadas por estes substratos têxteis são mais baixas (ver tabela 3.4) e as curvas de aquecimento e arrefecimento apresentam um declive muito próximo do algodão. Os poliésteres e o algodão proporcionam um menor isolamento térmico comparativamente às estruturas 3D e, por isso, são menos desejáveis para a aplicação pretendida.

### 3.3 Absorção de água

Na figura 3.22 encontra-se o perfil de absorção de água de todos os materiais têxteis usados na atividade experimental.



**Figura 3.22** Perfil de absorção dos diferentes têxteis usados na atividade experimental.

Como se pode visualizar na figura 3.22, o comportamento de absorção difere em todas as amostras testadas. O têxtil 3D de cupro/polipropileno mostra-se como preferencial uma vez que é o material capaz de absorver uma maior quantidade de água num intervalo de tempo menor. O Cupro3D tem um comportamento muito semelhante ao do Polipropileno3D a partir de aproximadamente 1,8 minutos depois de mergulhado em água, mas até esse instante o PP3D apresenta uma menor taxa de absorção.

Por comparação com as restantes amostras estes dois tipos de têxteis são os que demonstram um melhor comportamento em termos de absorção de água por capilaridade, e uma vez que constituem a mesma estrutura 3D, conclui-se que é esta a estrutura que melhor se destina à aplicação desejada no que diz respeito à capacidade de absorver água ou suor da superfície da pele por capilaridade.

A quantidade de água absorvida pela Seda3D ao fim dos 10 minutos de contacto com a água não foi o suficiente para ser quantificável, ou seja, a absorção de água ao fim deste tempo não atingiu 1 cm de altura. Este facto deverá estar relacionado com a hidrofobicidade característica do substrato têxtil.

A figura 3.22 não contempla as curvas de wicking vertical das amostras do PEVermelho e do PERosa pois estes têxteis não absorveram água durante toda a duração do ensaio. Relativamente ao PECLaranja, a face reversa atingiu os 5 centímetros de altura de absorção de água, mas a parte laranja propriamente dita não absorveu qualquer quantidade de água, constituindo uma face hidrofílica e outra hidrofóbica.

Com estes resultados, podemos concluir que a estrutura 3D de polipropileno/cupro é a amostra com características mais desejáveis para o conforto do usuário.

### 3.4 Ângulo de contacto

Os ângulos de contacto dos substratos de polipropileno 3D, de cupro 3D e de algodão 2D não foram possíveis ser medidos pois estes apresentam-se muito hidrofílicos, considerando-se por isso, um ângulo de contacto do substrato igual a zero. Na figura 3.23 pode observar-se as imagens dos restantes substratos em que foi possível a medição do ângulo de contacto.

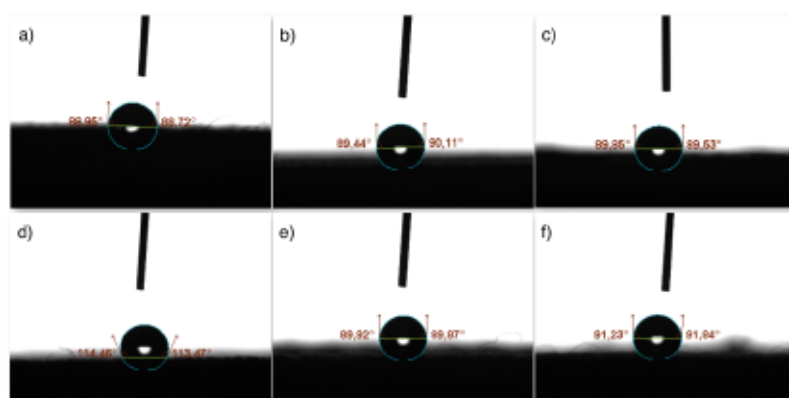


Figura 3.23 Imagens representativas da medição do ângulo de contacto. a) seda 3D; b) poliéster branco 2D; c) poliéster coolmax laranja 2D; d) poliéster coolmax laranja reverso 2D; e) poliéster rosa 2D; f) poliéster vermelho 2D.

**Tabela 3.5 Ângulo de contacto médio das amostras de seda 3D, poliéster branco 2D, poliéster coolmax laranja 2D, poliéster coolmax laranja reverso 2D, poliéster rosa 2D e poliéster vermelho 2D.**

Seda3D	PEBranco	PECLaranja	PECLaranja_reverso	PERosa	PEVermelho
84,60±8,48	90,20±0,23	93,18±4,33	118,03±5,96	93,02±3,46	98,89±7,50

Na tabela 3.5 é apresentado o ângulo de contacto médio e respetivo desvio-padrão dos diferentes substratos têxteis. O valor do ângulo de contacto dos poliésteres branco 2D, rosa 2D e vermelho 2D são diferentes entre eles pois diferem tanto nos materiais que as compõem como na estrutura da malha. A composição do poliéster rosa 2D e do poliéster vermelho 2D tem uma pequena diferença nas proporções dos materiais (poliéster e poliuretano) mas a estrutura difere bastante, por isso o ângulo de contacto apresentado é diferente em ambas as estruturas. Nos poliésteres, o que apresenta menor ângulo é o branco 2D. Este facto pode estar relacionado com a malha se apresentar mais aberta relativamente ao PEVermelho e PERosa, ou por este ter diferentes constituintes na sua composição. Relativamente à amostra de poliéster coolmax laranja uma das faces é mais hidrofóbica que outra (93,18° e 118,03°), por isso pode-se afirmar que os materiais que compõem as faces são diferentes. A amostra de seda 3D é bastante heterogénea pois apresenta um desvio-padrão muito elevado (8,48), a explicação para este valor pode estar relacionada com as lavagens não terem sido eficazes para retirar o tratamento que foi dado à seda no processo de fabrico, havendo partes mais lavadas (menor ângulo de contacto) e zonas menos lavadas (maior ângulo de contacto).

Para se calcular a energia livre de superfície foram utilizados mais dois solventes para além da água, o etilenoglicol e o diiodometano. Todas as amostras têxteis absorviam de imediato estes dois solventes para o seu interior, não tendo sido por isso possível medir o ângulo de contacto. Assim sendo, a energia livre de superfície das amostras têxteis não foi calculada.

A oleofobicidade foi também medida, e todos os materiais têxteis presentes na tabela 2.1 revelaram-se oleofílicos.

Relacionando os resultados da secção 3.3 (absorção de água) e 3.4 (ângulo de contacto) podemos referir que o algodão, o polipropileno e o cupro se mostram bastante hidrofílicos, apresentando-se com uma elevada absorção tanto local como por capilaridade.

Os poliésteres laranja, rosa e vermelho não apresentam absorção de nenhum dos tipos. Os poliésteres laranja reverso e branco apresentam-se com alguma absorção por capilaridade mas com ângulos superiores a 90°. Este facto pode estar relacionado com diferenças estruturais dentro de cada tecido, ou seja, heterogenidade estrutural na elaboração dos têxteis.

A seda tem um ângulo de contacto abaixo de 90°, ou seja, a água molha a superfície do sólido mas a absorção por capilaridade é quase inexistente.

O desejável para um têxtil que está em contacto com a pele é ter uma absorção tão rápida quanto possível, para retirar a maior quantidade de suor humano produzido pela pele. Posto isto, o têxtil tridimensional composto por cupro e polipropileno é o têxtil que melhor se designa para esta finalidade.



### 3.5 Detecção e quantificação de escina por espectroscopia UV/VIS

O gráfico apresentado na figura 3.24 ilustra a cinética de libertação do fármaco selecionado (escina) do têxtil 2D de algodão e do têxtil 3D de cupro e polipropileno. Comparou-se o algodão 2D, usado como controlo, ao Cupro3D/PP3D pois esta estrutura apresenta características térmicas e de absorção de água mais adequadas para aplicação desejada – vestuário funcional aplicado na área da geriatria.

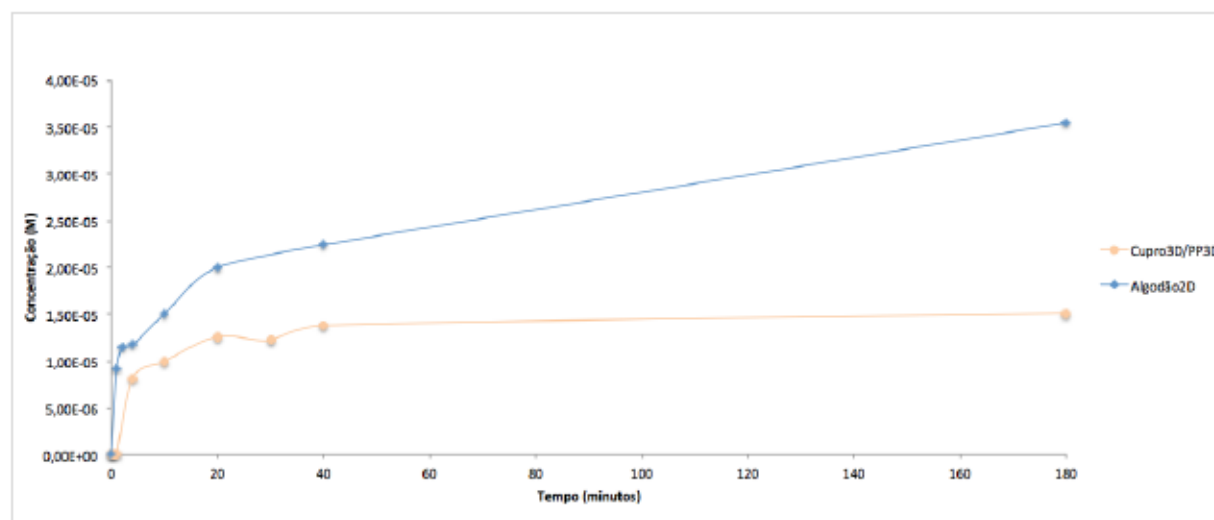


Figura 3.24 Cinética de libertação da escina do têxtil de algodão 2D e do têxtil 3D composto por cupro e polipropileno.

De acordo com os resultados obtidos, o Cupro3D/PP3D apresenta um perfil de libertação tendencialmente mais lento que o algodão 2D, durante os 180 minutos da análise. Este comportamento poderá estar relacionado tanto com a estrutura 3D do têxtil e possíveis fenómenos de capilaridade, como com o nível de afinidade para a água das fibras que compõem os dois tipos de tecidos. Enquanto que o algodão 2D apresenta um perfil com grande libertação de escina para a solução simuladora de suor ácido, o têxtil 3D apresenta uma libertação mais controlada. A partir dos 10 minutos, a libertação de escina não sofre grandes oscilações, o que poderá ser favorável em termos práticos, para controlar o doseamento do fármaco a ser libertado para o organismo humano.



## 4 Conclusões gerais

A realização deste projeto permitiu validar a aplicabilidade de têxteis tri-dimensionais compostos por cupro/polipropileno e seda, em aplicações funcionais na área da medicina e dos cuidados de saúde. Devido a apresentarem uma arquitetura 3D, estes têxteis exibem uma performance mecânica superior como foi já amplamente estudado em trabalhos anteriores (maior resistência ao choque e à compressão), o que os torna particularmente adequados em situações de prevenção de feridas de contacto - aparecimento de feridas nas extremidades do corpo - que ocorrem principalmente devido ao efeito do próprio peso em idosos que permanecem vastos períodos de tempo acamados.

O substrato têxtil que reuniu as propriedades mais interessantes para a aplicação proposta foi o composto por cupro/polipropileno, comparativamente a um têxtil 3D contendo um polímero natural, a seda, e a têxteis tradicionais de algodão e poliéster. Relativamente ao conforto térmico, o têxtil 3D de cupro/polipropileno apresentou um isolamento térmico mais elevado comparativamente aos tecidos de duas dimensões. Esta característica é essencial para utilizadores com maior dificuldade de regulação térmica, acamados e idosos com pouca ou nenhuma atividade física. Este têxtil apresentou em ambas as faces uma hidrofiliabilidade muito elevada (ângulo de contacto não detectável devido a fenómenos de capilaridade) e um perfil de absorção de água mais favorável (tal como medido por wicking vertical) tendo sido capaz de absorver uma maior quantidade de água num intervalo de tempo mais reduzido. Assim, o têxtil apresentou uma absorção local e por capilaridade mais elevada, podendo dizer-se que será mais eficaz na evaporação do suor da pele para o ambiente.

A partir da funcionalização dos substratos têxteis 2D de algodão e 3D de cupro e polipropileno com escina, concluiu-se que o último apresenta condições mais vantajosas quer pela melhor capacidade de retenção do fármaco (escina), quer por apresentar um perfil de libertação que pode ser mais facilmente controlado. O tecido consegue reter mais quantidade do fármaco pois a libertação de escina é mais lenta em comparação com o tecido de algodão 2D, o que poderá ser favorável em termos práticos para controlar o doseamento do fármaco a ser libertado para o organismo humano.

## 5 Trabalho futuro

O desenvolvimento deste projeto permitiu obter novos conhecimentos e abrir caminhos para trabalhos futuros na área dos materiais têxteis funcionais. A continuação do mesmo, tendo em conta os aspetos a melhorar e ainda a realizar, permitirá, no futuro próximo, obter produtos de elevado interesse comercial e valor acrescentado.

Uma vez que esta investigação se encontra ainda em fase inicial, e devido às limitações encontradas no seu desenvolvimento, existem alguns parâmetros que necessitam ser revalidados. Desta forma, enumeram-se algumas ações a realizar em trabalhos futuros:

- Estudar o comportamento térmico a baixas temperaturas do material têxtil 3D de cupro e polipropileno. Dada a baixa condutividade térmica dos materiais 3D utilizados já demonstrada para temperaturas elevadas (maior isolamento térmico), poderia ser interessante saber se estes também têm a capacidade de reter temperaturas baixas durante um período de tempo aceitável. Tal inércia térmica torna-se pertinente quando existem diversos tipos de lesões em que num primeiro momento se devem aplicar baixas temperaturas na região lesada.
- Reprodução do método de deteção e quantificação de escina. Este ensaio deverá ser repetido de forma a serem validados os perfis de libertação do fármaco e se obterem resultados mais conclusivos.
- Seria oportuno e indispensável avaliar se o fármaco incorporado no substrato têxtil 3D, possui a capacidade de ser absorvido ao nível da pele, em que extensão ocorrerá a absorção para tratar a área lesada. A libertação in situ de determinados princípios activos ou agentes farmacológicos é uma área de interesse que poderá ser explorada no futuro.

De uma maneira geral, pode afirmar-se que o presente trabalho abre portas à realização de estudos futuros, enquadrados na utilização de materiais têxteis funcionais com aplicação direta no campo da medicina e dos cuidados de saúde.

## 6 Bibliografia

1. Van Langenhove, L. 2007. Smart Textiles for Medicine and Healthcare: Materials, Systems and Applications. Elsevier Science, pp. 336.
2. Mattila, H.R. 2006. Intelligent Textiles and Clothing. Woodhead, pp.528.
3. Araújo, M., Figueiro R., Hong H. 2000. Têxteis Técnicos - Materiais do Novo Milénio, 1ª edição. Williams/DGI, Braga.
4. Curado C., Sousa C., Lameira S. 2002. "A Indústria Têxtil em Portugal." Disponível: [http://www.crcvirtual.org/vfs/old\\_crcv/biblioteca/ind\\_textil/f\\_tecn.html](http://www.crcvirtual.org/vfs/old_crcv/biblioteca/ind_textil/f_tecn.html) [data de consulta: 10/10/2014].
5. Biegling, P. 2010. Arte, Novas Tecnologias e Comunicação: Fenomenologia da Contemporaneidade. PMStudium Comunicação e Design, pp.4.
6. Carvalho, M. 2004. Tramas que o design tece: Têxteis do novo milénio - Têxteis técnicos e inteligentes [dissertação de Mestrado]. Universidade do Porto: Porto. Disponível: Faculdade de Engenharia, FEUP; oai:digitool.fe.up.pt:5775.
7. Gupta, D. 2011. Functional Clothing - Definition and Classification. *Indian Journal of Fibre & Textile Research* **36**: 321-326.
8. FIORIMA. 2011. "Peúga-EcoHighTec | Materiais Inteligentes, funcionais e ecológicos integrados em estruturas têxteis." Disponível: <http://www.pofc.qren.pt/media/noticias/entity/peuga-ecohightec--materiais-inteligentes-funcionais-e-ecologicos-integrados-em-estruturas-texteis> [data de consulta: 10/06/2014].
9. Meinander, H., Varheenmaa M. 2002. "Clothing and textiles for disabled and elderly people." Disponível: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2143.pdf> [data de consulta: 24/11/2014].
10. Figueiro, R. 2011. Fibrous and Composite Materials for Civil Engineering Applications. Elsevier Science, pp. 420.
11. Kuasne, A. 2008. "Fibras têxteis." Disponível: [https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/8/88/Apostila\\_fibras.pdf](https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/8/88/Apostila_fibras.pdf) [data de consulta: 26/11/2014].
12. Soutinho, H. 2006. Design Funcional de Vestuário Interior. [dissertação de Mestrado]. Universidade do Minho: Braga. Disponível: Design e Marketing, UM; <http://hdl.handle.net/1822/6979>.



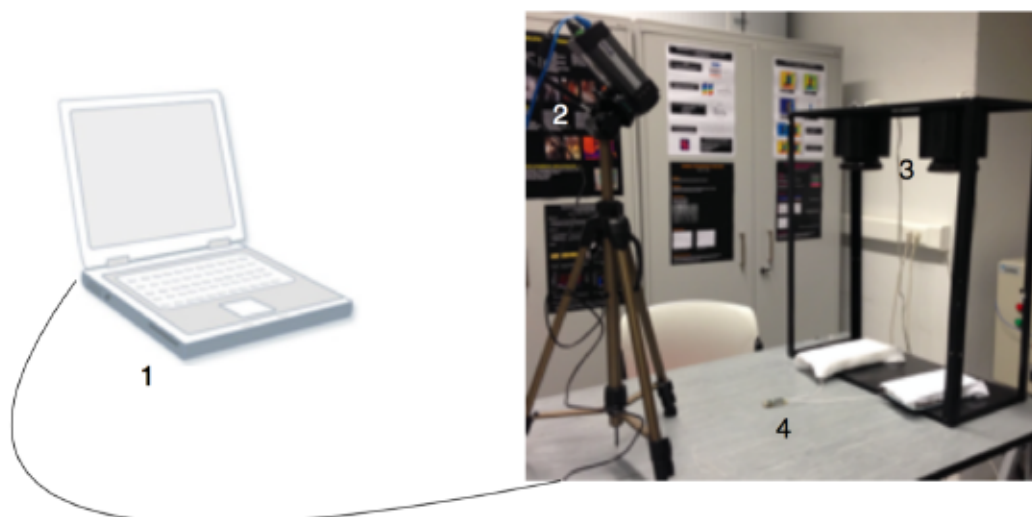
13. Kozłowski, R.M. 2012. Handbook of Natural Fibres: Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation. Elsevier Science, pp. 656.
14. Shawn, A. "Chemical Composition of Cotton Fibre." Disponível: <http://textilelearner.blogspot.pt/2014/10/chemical-composition-of-cotton-fiber.html> [data de consulta: 01/12/2014].
15. Belhaj Khalifa, I., Ladhari N., Touay M. 2011. Application of sericin to modify textile supports. *The Journal of The Textile Institute* **103**(4): 370-377.
16. Karmakar, S.R. 1999. Chemical Technology in the Pre-Treatment Processes of Textiles. Elsevier Science, pp. 497.
17. Cook, J.G. 1984. Handbook of Textile Fibres: Man-Made Fibres. Elsevier Science, pp.760.
18. Joanne and Stefanie. "Type of plastics." Disponível: <http://dwb4.unl.edu/Chem/CHEM869E/CHEM869ELinks/qlink.queensu.ca/~6jrt/chem210/Page5.html> [data de consulta: 01/12/2014].
19. Ribeiro V. P., Ribeiro A. S., Silva C. J., Durães N. F., Bonifácio G., Correló V. M., Marques A. P., Sousa R. A., Oliveira A. L., Reis R. L. 2013. Novel 3D Architectures Based on Knitting Technologies for Engineering Biological Tissues. *MedTex13* [Online], 13(13):13-15. Disponível: <http://www.3bs.uminho.pt/content/novel-3d-architectures-based-knitting-technologies-engineering-biological-tissues> [26/9/2015].
20. Ting, H. 2011. A Study of Three Dimensional Warp Knits for Novel Applications as Tissue Engineering Scaffolds [tese de Mestrado]. Raleigh University, 107pp. Disponível: Raleigh University.
21. Moutos, F.T., Freed L.E., Guilak F. 2007. A biomimetic three-dimensional woven composite scaffold for functional tissue engineering of cartilage. *Nat Mater* **6**(2): 162-167.
22. Silva, G. 2005. Design 3D em tecelagem jacquard como ferramenta para a concepção de novos produtos: aplicação em acessórios de moda [tese de Mestrado]. Universidade do Minho: Braga. Disponível: Universidade do Minho; <http://hdl.handle.net/1822/3152>.
23. What Is Warp And Weft Knitting - Difference Between Warp And Weft Knitting. 201. Disponível: <http://textilefashionstudy.com/about-us/> [data da consulta: 11/06/2015].
24. Lee, J., Ceglie, A., Kim, K., Lee Y. 2012. Characterization of dyed textiles using TOF-SIMS and FT-IR. *Surface and Interface Analysis* **44**(6): 653-657.



25. Stuart, B.H. 2004. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. Wiley.
26. Fangueiro, R., Filgueiras, A., Soutinho, F., Meidi, X. 2010. Wicking Behavior and Drying Capability of Functional Knitted Fabrics. *Textile Research Journal* **80**(15): 1522-1530.
27. Mittal, K.L. 2009. *Contact Angle, Wettability and Adhesion*. Taylor & Francis, pp. 397.
28. Biolin Scientific. 2015. "Contact Angle Measurement." Disponível: <http://www.biolinscientific.com/attension/applications/?card=AA7> [data da consulta: 15/09/2015].
29. Socrates, G. 1995. *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies: Tables and Charts*, 3ª edição. Wiley, pp. 347.
30. Coates, J. 2000. Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach. pp. 10815-10837. In *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, John Wiley and Sons Ltd, Chichester.

## Apêndices

### Apêndice I. Montagem experimental da caracterização térmica com termopares.



#### Legenda:

1. Computador
2. Câmera termográfica FLIR  
SYSTEMS ThermoVision™ A320
3. Lâmpadas infravermelhas
4. Termopar

## Apêndice II. Reta de calibração da escina.

Tabela I. Valores de absorvância das concentrações padrão.

Concentração (M)	Absorvância
1,00E-05	0,10768
4,00E-05	0,2472
7,00E-05	0,20057
1,00E-04	0,79353
5,00E-04	3,0632

Ponto excluído

$\lambda = 220 \text{ nm}$

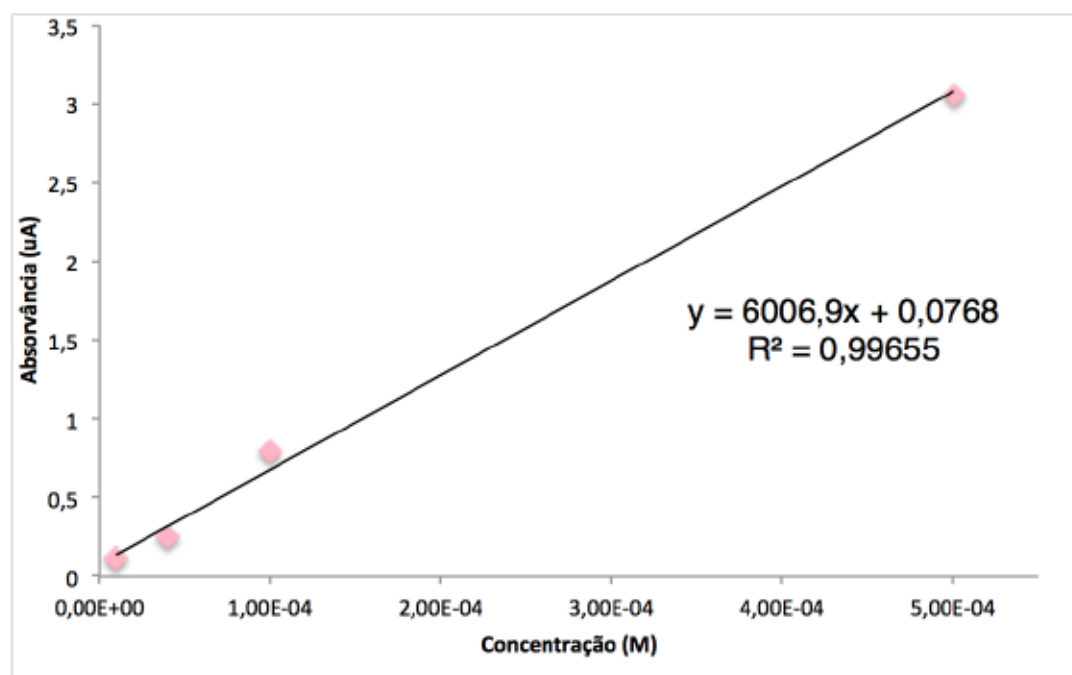


Figura I. Reta de calibração da escina.

**Apêndice III. Resultado da taxa de libertação de escina do algodão 2D (em absorvância).**

**Tabela II. Resultados da taxa de libertação de escina do algodão 2D.**

Tempo	Tempo (segundos)	Tempo (minutos)	Absorvância	Absorvância controlo	Absorvância corrigida	Concentração (M)
T0	0	0	0,075025	0,072702	0,002323	-1,23986E-05 = 0
<b>T1</b>	<b>30</b>	<b>0,5</b>	<b>0,233765</b>	<b>0,083761</b>	<b>0,150004</b>	<b>1,21867E-05</b>
T2	60	1	0,218328	0,086855	0,131473	9,1017E-06
T3	120	2	0,238395	0,092899	0,145496	1,14362E-05
T4	240	4	0,254171	0,106831	0,14734	1,17432E-05
T5	600	10	0,272056	0,104888	0,167168	1,5044E-05
T6	1200	20	0,309638	0,11262	0,197018	2,00133E-05
<b>T7</b>	<b>1800</b>	<b>30</b>	<b>0,372511</b>	<b>0,123413</b>	<b>0,249098</b>	<b>2,86833E-05</b>
T8	2400	40	0,332751	0,121462	0,211289	2,23891E-05
T9	10800	180	0,438619	0,149037	0,289582	3,54229E-05

Nota: Os pontos a vermelho foram retirados dos gráficos da figura 38 e da figura III. Os pontos usados estão assinalados a negrito na tabela II.

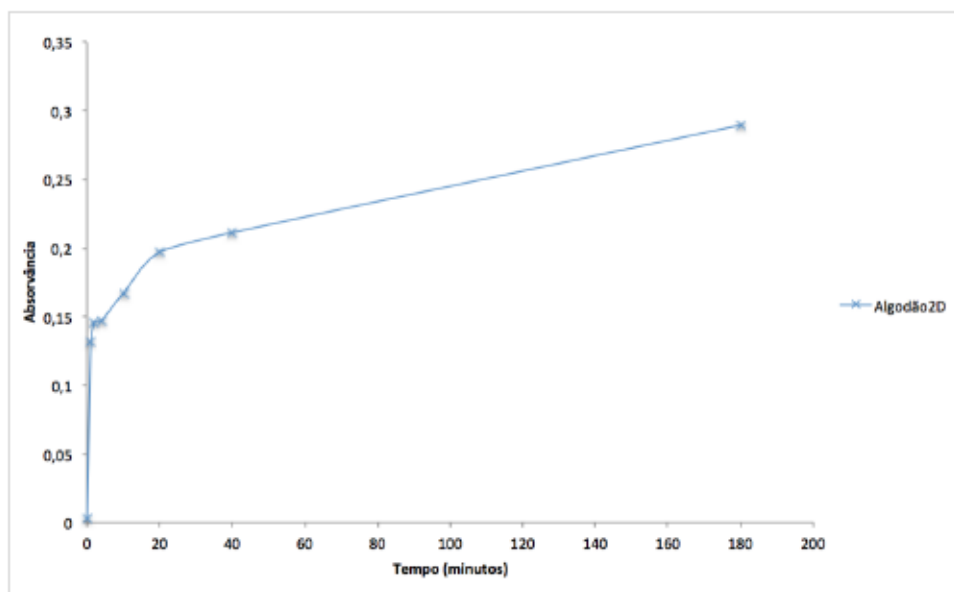
Exemplo de cálculo:

- Concentração (M):

Através das concentrações padrão presentes no anexo II, e posterior construção do gráfico, obteve-se:  $y = 6006,9x + 0,0768$

Utilizando os valores da terceira linha da tabela II correspondente ao T2, tem-se:

$$\text{Concentração (M)} = \frac{\text{Absorvância corrigida} - 0,0768}{6006,9} = \frac{0,131473 - 0,0768}{6006,9} = 9,1017E - 06 \text{ M}$$



**Figura II. Perfil de liberação da escina do algodão 2D (em absorvância).**



**Apêndice IV. Resultado da taxa de libertação de escina do cupro3D/PP3D (em absorvância).**

**Tabela III. Resultados da taxa de libertação de escina do têxtil 3D de cupro e polipropileno.**

Tempo	Tempo (segundos)	Tempo (minutos)	Absorvância	Absorvância controlo	Absorvância corrigida	Concentração (M)
T0	0	0	0,066785	0,071468	-0,004683	-1,35649E-05 = 0
T1	30	0,5	0,112121	0,072662	0,039459	-6,21635E-06 = 0
T2	60	1	0,149198	0,079959	0,069239	-1,25872E-06 = 0
<b>T3</b>	<b>120</b>	<b>2</b>	<b>0,273322</b>	<b>0,081228</b>	<b>0,192094</b>	<b>1,91936E-05</b>
T4	240	4	0,209756	0,084164	0,125592	8,12266E-06
T5	600	10	0,223982	0,087236	0,136746	9,97952E-06
T6	1200	20	0,241575	0,089232	0,152343	1,2576E-05
T7	1800	30	0,241657	0,091312	0,150345	1,22434E-05
T8	2400	40	0,24965	0,090045	0,159605	1,3785E-05
T9	10800	180	0,265652	0,098247	0,167405	1,50835E-05

Nota: Os pontos a vermelho foram retirados dos gráficos da figura 38 e da figura III. Os pontos usados estão assinalados a negrito na tabela II.

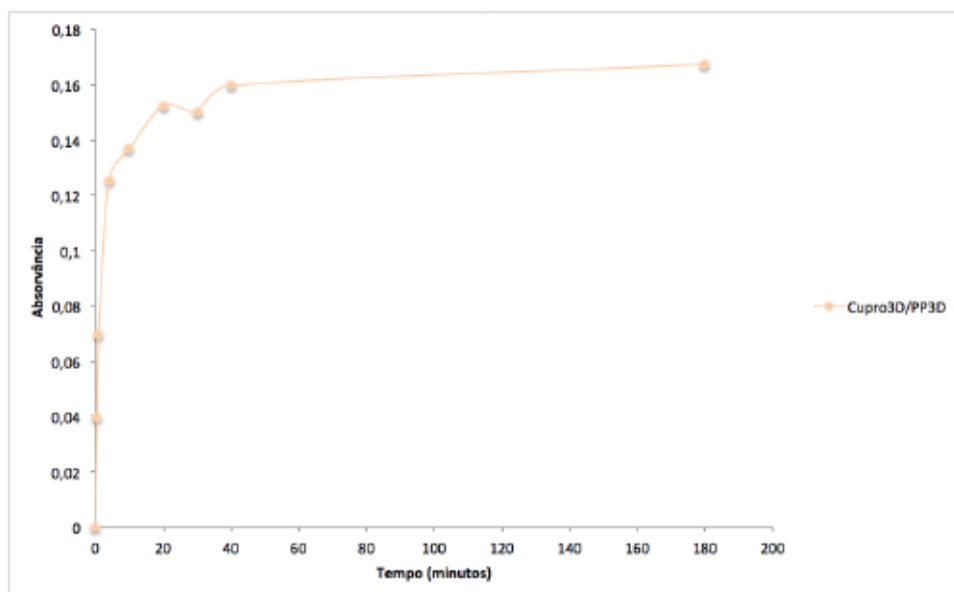
Exemplo de cálculo:

- Concentração (M):

Através das concentrações-padrão presentes no anexo II, e posterior construção do gráfico, obteve-se a equação da reta:  $y = 6006,9x + 0,0768$

Utilizando os valores da última linha da tabela III, tem-se:

$$\text{Concentração (M)} = \frac{\text{Absorvância corrigida} - 0,0768}{6006,9} = \frac{0,167405 - 0,0768}{6006,9} = 1,50835E - 05 \text{ M}$$



**Figura III. Perfil de liberação da escina do Cupro3D/PP3D (em absorvância).**

## Anexos

### Anexo I. Esquema simplificado da organização das fibras têxteis.

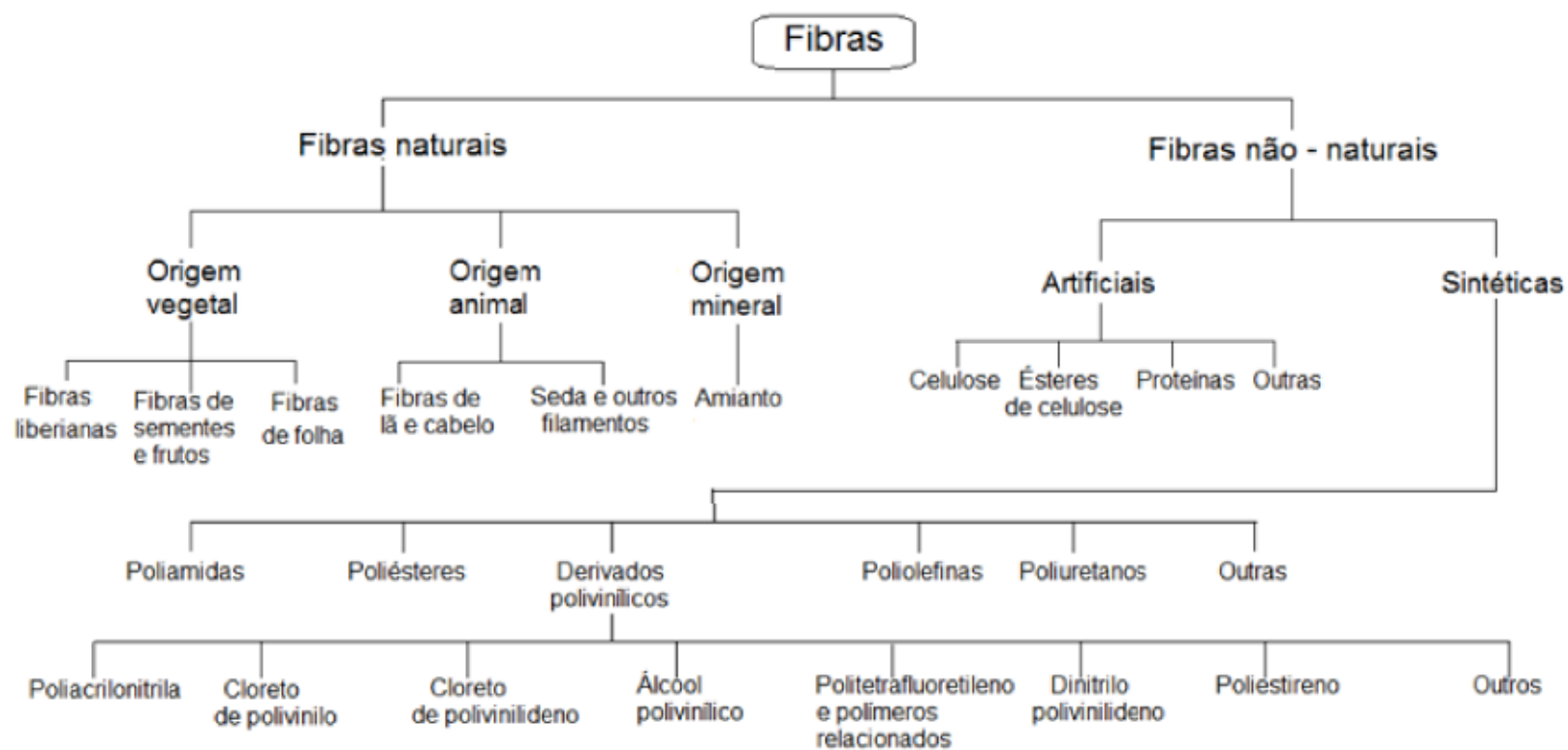


Figura IV. Esquema da organização das fibras têxteis.

## Anexo II. Relatório de avaliação do pedido de comparticipação de um medicamento de escina para uso humano (algumas informações úteis).



### **RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DO PEDIDO DE COMPARTICIPAÇÃO DE MEDICAMENTO PARA USO HUMANO**

DCI – Escina

N.º Registo	Nome Comercial	Apresentação/Forma Farmacêutica/Dosagem	Titular de AIM
5935085	Varison	25 comprimidos de libertação prolongada, doseados a 50 mg	Dr. Willmar Schwabe GmbH & Co.
4799888		50 comprimidos de libertação prolongada, doseados a 50 mg	

Data de indeferimento: 17/03/2010

Estatuto quanto à dispensa: Medicamento Sujeito a Receita Médica

Medicamento Genérico: Sim ☐ Não ☒

Indicações Terapêuticas à data da avaliação: Tratamento sintomático de alterações funcionais das veias dos membros inferiores (insuficiência venosa crónica), como por exemplo, dores e sensação de peso nas pernas, câibras nocturnas, prurido e edemas das pernas.

Classificação Farmacoterapêutica: 3.6 - Aparelho cardiovascular - Venotrópicos

Código ATC: C05CX

Nota: Algumas informações respeitantes ao medicamento podem ser revistas periodicamente. Para informação actualizada, consultar o [infarmed](http://infarmed.pt).

#### **1. CONCLUSÕES DA AVALIAÇÃO**

Trata-se de um novo medicamento que não constitui inovação terapêutica significativa, nem possui composição qualitativa idêntica à de outros já comparticipados.

Apesar de se admitir a existência de alguma evidência de eficácia, a mesma não se encontra comprovada por estudos clínicos robustos.

#### **2. AVALIAÇÃO FARMACOTERAPÊUTICA**

Propriedades farmacológicas	<p>Em vários modelos experimentais, ficou demonstrado que a mistura glicosido-trepénico escina, principal constituinte do extracto seco das sementes do castanheiro da Índia, tem uma acção anti-exsudativa e de impermeabilidade dos capilares.</p> <p>Observou-se que o extracto das sementes do castanheiro da Índia reduz a actividade das enzimas lisosómicas, cuja actividade se encontra aumentada nas doenças venosas crónicas, de forma que se inibe a decomposição de glicocalix (mucopolissacáridos) na parede capilar. Mediante a redução da permeabilidade vascular, impede-se que a filtração de proteínas com baixo peso molecular, os electrólitos e a água entrem no espaço intersticial.</p>
-----------------------------	--



	Para informação adicional sobre o perfil farmacológico e farmacocinético, consultar o RCM disponível no <a href="#">Infomed</a> .
<b>Adequação das apresentações à posologia</b>	Não adequada. Segundo a Portaria 1471/2004, de 21 de Dezembro, uma vez que a forma farmacêutica são comprimidos de libertação prolongada, deve haver uma embalagem até 30 unidades. Neste caso não existe justificação para abrir uma excepção.
<b>Enquadramento legal</b>	Alínea a) do n.º 2 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 118/92, de 25 de Junho. Apesar de ser um novo medicamento que não trará valor terapêutico acrescido em relação aos "venotrópicos" existentes, comparticipados, a comparticipação destes foi segundo um regime transitório, no escalão D, o que significa que não existe nenhum venotrópico comparticipado no regime geral. Assim, a alínea de comparticipação para o medicamento em causa é a a), visto existir alguma evidência de eficácia. Quanto ao mecanismo de acção, que não é em si um critério de inovação terapêutica mas eventualmente de inovação farmacológica, permanece em grande parte desconhecido, apontando-se várias hipóteses ou mecanismos de acção.
<b>Comparador seleccionado</b>	Diosmina ou bioflavonóides, a 500 mg por comprimido, em embalagens de dimensão similar. Justifica-se pelo facto de apresentarem a mesma indicação clínica e algum fundamento clínico para a sua utilização.
<b>Valor terapêutico acrescentado</b>	O medicamento em causa não apresenta vantagem terapêutica que justifique a sua comparticipação, uma vez que a vantagem terapêutica evidenciada nos estudos clínicos não é superior à demonstrada pelos restantes medicamentos venotrópicos, abrangidos pelo Despacho N.º 9088/2006, de 30 de Março. Esta é uma condição <i>sine qua non</i> para permitir a comparticipação deste medicamento.

### 3. AVALIAÇÃO ECONÓMICA

<b>Termos de comparação</b>	Não Aplicável
<b>Tipo de análise</b>	Não Aplicável
<b>Vantagem económica</b>	Não Aplicável

### 4. OBSERVAÇÕES

Os medicamentos venotrópicos foram comparticipados pelo Estado ao abrigo do Escalão C até à



entrada em vigor do Despacho N.º 9088/2006, de 30 de Março, o qual alterou a comparticipação destes medicamentos para o Escalão D, mediante a celebração de um contrato com o INFARMED, I.P., de duração limitada no tempo a um máximo de quatro anos, durante os quais o preço iria sofrendo reduções progressivas.

Decorrente deste normativo legal, a comparticipação posterior de qualquer medicamento venotrópico deverá ser feita pelo regime geral de comparticipações. Simultaneamente, para que a comparticipação tenha lugar, terá de ser comprovada eficácia clínica superior à dos medicamentos abrangidos pelo Despacho N.º 9088/2006, de 30 de Março.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RCM do medicamento Varison
2. The Cochrane Library, issue 4, 2008
3. Pittler M H, Ernst E. Horse-chestnut seed extract for chronic venous insufficiency: a criteria-based systematic review. *Archives of Dermatology*. 1998;**134**(11):1356-1360
4. Pittler, M.H. and Ernst, E. Horse chestnut seed extract for chronic venous insufficiency. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2006, Issue 1, Art No.:CD003230. DOI: 10.1002/14651858.CD003230.pub3
5. Martinez-Zapata MJ, Bonfill Cosp X, Moreno RM, Vargas E, Capellà D. Phlebotonics for venous insufficiency. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2005, Issue 3. Art. No.: CD003229. DOI: 10.1002/14651858.CD003229.pub2